

# BRILL'S STUDIES IN INTELLECTUAL HISTORY

*General Editor*

A.J. VANDERJAGT, University of Groningen

*Editorial Board*

M. COLISH, Oberlin College

J. I. ISRAEL, University College, London

J. D. NORTH, University of Groningen

R. H. POPKIN, Washington University, St. Louis — UCLA

VOLUME 3



PIERRE DUHEM

# PRÉMICES PHILOSOPHIQUES

PRÉSENTÉES AVEC UNE INTRODUCTION EN ANGLAIS

PAR

STANLEY L. JAKI



E.J. BRILL

LEIDEN • NEW YORK • KØBENHAVN • KÖLN

1987

The six articles forming the six chapters of this book originally appeared in the following issues of the *Revue des questions scientifiques*:

- 31 (janvier 1892), pp. 139-77
- 33 (janvier 1893), pp. 90-133
- 34 (juillet 1893), pp. 55-83
- 34 (octobre 1893), pp. 345-378
- 36 (juillet 1894), pp. 179-229
- 40 (octobre 1896), pp. 463-499

The articles are reprinted with new running heads and with new page numbering.

**Library of Congress Cataloging-in-Publication Data**

Duhem, Pierre Maurice Marie, 1861-1916.  
Prémices philosophiques.

(Brill's studies in intellectual history ; v. 3)  
"The six articles forming the six chapters of this book originally appeared in ... issues of the *Revue des questions scientifiques*"—P. iv.

Includes index.

1. Physics—Philosophy—Collected works. 2. Physics—History—Collected works. 3. Science—Philosophy—Collected works. 4. Science—History—Collected works.

I. Jaki, Stanley L. II. Title. III. Series.

QC5.58.D84 1987 530'.01 86-33418

ISBN 90-04-08117-8

ISSN 0920-8607  
ISBN 90 04 08117 8

*Copyright 1987 by E. J. Brill, Leiden, The Netherlands*

*All rights reserved. No part of this book may be reproduced or translated in any form, by print, photoprint, microfilm, microfiche or any other means without written permission from the publisher*

PRINTED IN THE NETHERLANDS

## TABLE DES MATIÈRES

Introduction par Stanley L. Jaki .....	vii
1. Quelques réflexions au sujet des théories physiques .....	i
2. Une nouvelle théorie du monde inorganique.....	40
3. Physique et métaphysique.....	84
4. L'Ecole anglaise et les théories physiques.....	113
5. Quelques réflexions au sujet de la physique expérimentale ....	147
6. L'Evolution des théories physiques du XVII <sup>e</sup> siècle jusqu'à nos jours .....	198
Index.....	235





## INTRODUCTION

“Being eternal, logic can be patient,” so concluded Pierre Duhem the first and by far longest section of the account, or *Notice*, he wrote about his work to the Académie des Sciences in the spring of 1913. The *Notice* was a formality on behalf of his election, which took place in early December, as one of the first six non-resident members of the Académie.<sup>1</sup> That he was the last of the six to be elected was in itself a good reason for patience. He had more patience than many of his admirers, in France and abroad, who by the summer began to clamor for an election whereby the French academic world partly atoned for a signal injustice, the lifelong banishing of Duhem to the provinces.

If time is a test of true value, Duhem should have been elected already in May as the first of those six. Of the other five only the name of Paul Sabatier, a Nobel laureate chemist from Toulouse, has occasionally appeared in print for the rest of the century. Interest in the thought of Duhem has never ceased and became increasingly strong for the past two or three decades. His thought proved itself vast and creative in three fields: theoretical physics, philosophy of physics, and history of science. Not that Duhem wanted to be chiefly remembered as a philosopher or a historian. His studies relating to these two fields were exclusively in the service of his overriding interest: doing physics in the logically most unobjectionable way.

Such an interest has little appeal to the ever strong hunger for novelty. In fact Duhem as a physicist had little appeal for a growing number of physicists in France by the time he was elected to the Académie. In a letter to his daughter, Hélène, who impatiently waited for his election, Duhem spoke of it as being just one more nail driven by some of his fellow physicists into that coffin in which they wanted to bury him while still alive. Those were the years when the first glimpses were caught of the world of atoms, the years of widespread belief that atoms were bits of machinery of ordinary matter, in proof of the mechanistic philosophy that had grown around Newtonian physics.

Today, when “fundamental” particles are counted by the dozens if not by the hundreds, when for physicists matter is more elusive than ever, when many physicists think that matter can be scooped out of nothing by mere cleverness with mathematical operations, Duhem’s

<sup>1</sup> For details on this and other data mentioned in this Introduction, see my *Uneasy Genius: The Life and Work of Pierre Duhem* (Dordrecht, London, Boston: Martinus Nijhoff, 1984).

reference to patience may appear quite logical. His logic seems to be vindicated by the increasing recognition that since fundamental particles are best to be taken for resonances, physics in essence is a consistent coordination of measurements of energy. The “*énergétique*” of Duhem, a favorite target of arrogant and facile criticism, may indeed have already re-entered the scene in a new garb. Again, while still in his prime Duhem became a dinosaur in the eyes of the wave of the future, such as the Curies, Perrin, Langevin and others, for his insistence on continuity methods in physics, unexpected solutions are found in his long-buried memoirs for problems posed by plasma physics, an ever widening field stretching from nuclear fusion to galactic structure.

The over a hundred pages taken up in the *Notice* by his account of his work in physics dwarf the dozen pages he devoted there respectively to his work in the philosophy and in the history of physics. Yet this lopsided proportion does not reflect the actual proportion of his publications in those three fields. Of the total of over twenty-five thousand printed pages about eight thousand relate to the history of physics—it is enough to think of the ten, three, and two massive volumes of his *Le système du monde*, *Etudes sur Léonard de Vinci*, and *Les origines de la statique*. The forty years that elapsed between Duhem’s death in 1916 and the posthumous publication of the last five volumes of the *Système* once more proved Duhem’s dictum about the vindication by patience of perennial valor.

Reference to patience in that sense is also appropriate in connection with his production relating to the philosophy of physics. Of that production only a part, *La théorie physique*, is spoken about, though hardly ever with the thoroughness due to a masterpiece. First it was taken for a classic by the positivist interpreters of physics, a sort of French refashioning of Mach’s thought. Curiously, no second thoughts were aroused by the paucity of letters exchanged between Mach and Duhem, invariably amounting to expressions of mere courtesy. Later, the author of *La théorie physique* was turned into a forerunner and ally of authors delivering messages in direct contradiction to that masterpiece and even their favorite labels. A case in point is the message, in the guise of the logic of discovery, that there is no logic to be found there; another is the revealing in the radical disconnectedness of successive phases of the history of science in terms of a structure for scientific revolutions, as if structure did not mean an over-arching coherence. Sundry interpreters of science who sink it into the murky abysses of psychohistory, sociologism, and even of plain mythologizing are also wont to claim Duhem by misinterpreting the thrust of his portrayal of the stamp which the nationality of a physicist may put on his physical theory. The aim and structure of physics, as conceived by Duhem, meant something far deeper

than that stamp, to say nothing of the shallows of his misinterpreters.

While Duhem discoursed lucidly in *La théorie physique* on hypotheses and deductions made from them, he had a far deeper philosophy than the one characteristic of the spokesmen of the hypothetico-deductive model, who often use their pedantic dissection of scientific method for a cover-up of their disdain for ontology and metaphysics. Duhem was enough of a logician to know that ontological relativity is a contradiction in terms as long as ontology is taken for the study of being as such and not for something else. This point was never suspected by the architects and enthusiasts of what so unfortunately and unjustly has been called the Duhem-Quine thesis.

There is a pattern in all that. Decades ago, when émigrés of the Vienna Circle took over most leading American philosophical establishments, Duhem was allowed to enter the scene only on the coattails of Mach and Schlick. More recently, his entry ticket became glued to the dossiers of Popper, Quine, Kuhn, Feyerabend, to name a few. That he was called upon in so many disparate contexts was an indirect recognition of his stature towering above the “greats” of 20th-century philosophy of science. In view of this chronic misconstruction of Duhem’s philosophy as set forth in *La théorie physique*, study of his other philosophical writings may not have nipped in the bud systematic misconceptions about him. Yet warning voices may have been raised time and again if the essays republished here had been readily available in book form shortly after World War II when the philosophy of science suddenly became the fashion of philosophers, and reprints and complete editions were for a while a fairly inexpensive vogue.

For in these essays Duhem speaks with an abandon, verve, and directness which are not so evident in *La théorie physique*. Half of the essays reverberate with the persuasiveness of the brilliant teacher he was. That he knew how to drive home the essentials, is well illustrated in the first of the essays here reprinted, the opening lecture of Duhem’s course on mathematical physics at the University of Lille. His audience was a talented group of students preparing for the *licence* and *agrégation*. One of them, Lucien Marchis, became thirty years later the first occupant of the chair for aeronautics at the Sorbonne. It was under his students’ searching questions that Duhem—who took up, after brilliant but also tragic studies at the Ecole Normale, his first teaching job in Lille in 1887—fully perceived the fallacy of mechanistic physics insofar as it was a search for visible and invisible mechanisms in nature.

But unlike other physicists—a Kirchoff, a Hertz, a Clifford, a Mach, and others who also had perceived that fallacy—Duhem did not despair of physical reality. Unlike them, he did not call for a purely methodical

or operational approach and then seek antidote against epistemological despair in sensationism or in idealism. He firmly reasserted man's intellectual grasp of ontological reality, the only basis for making physical research meaningful. Only a born metaphysical realist could start an essay (the first here reprinted) on physical theories with the unhesitating declaration: "The human mind, placed in the external world so that he may know it, first encounters the realm of facts." No idealist, no sceptic, no operationist, no falsificationist, not even an ontological relativist would have ever spoken in that realist vein as Duhem did, in the fifth essay, of the perception of any object, be it a white horse or anything else, open to immediate observation. The passage (p. 175) shows the unerring touch of a metaphysical realist who, unlike many other physicists then and especially in more recent years, never looked for physics as a deliverer of reality. For Duhem the work of the physicist presupposed his commonsense grasp of reality. On that grasp physics could make improvements, modifications, but could never provide that very grasp. Nor could physicists go on without falling back on that commonsense grasp of reality as they were catching their breath in the increasingly rarified air of mathematical abstractions.

Such is one of the points made with verve, freshness, and lucidity in these essays.<sup>2</sup> On reading them, with thorough familiarity with *La théorie physique* as background, one may see the continuity in Duhem's position as a philosopher. The changes in it were always a matter of tone, not of essence. Thus in *La théorie physique*, and even more so in the philosophical chapter of *La science allemande* published a year before his death at the age of 56, Duhem's language approaches Pascal's fideistic expressions concerning man's knowledge of reality. Had Abel Rey written his long exposé of Duhem's philosophy on the basis of *La théorie physique*, he might have had perhaps some excuse for his characterizing Duhem's philosophy as the "the philosophy of a believer," a phrase which Duhem helped to invest with a meaning unintended by Rey. For Rey the believer did not mean Duhem the Christian but the philosopher who is neither an empiricist (mechanist) nor an idealist (rationalist) but someone in between. Rey was at a loss for a label concerning that median position. He knew nothing of the rising Neo-Thomist School which aimed at saving the intellect's contact with ontological reality by avoiding those two extremes. Much less could Rey know of Duhem's exposure to at least the essentials of that middle position through contact with faculty members at the Institut Catholique at Lille which in turn had ties with Louvain where Mercier spearheaded the Neo-Thomist movement.

<sup>2</sup> They are discussed in detail in pp. 320-44 of my work quoted above.

Duhem's Thomism was that of a passionately independent amateur. When almost twenty years after these essays he wrote at length on Thomas's philosophy, he failed to see the forest for the trees, hardly a credit to the lover of Aristotle he was. These essays antedate his extensive reading of Aristotle in whom he again saw rather the logician, the classifier, than the ontologist. For Duhem's emphasis on natural classification as that crowning point of physical theory where it rejoins reality is more Duhemian than Aristotelian in its brevity. And, of course, there is nothing Aristotelian in Duhem's brilliant argument about the impossibility of crucial experiment, which is first set forth in the fifth of these essays, written a dozen years before it was carried far and wide in the pages of *La théorie physique* and made intellectual history.

History it was also in its ample share of misuses bordering at times on plagiarism. Only six years after the publication of the fifth essay, Poincaré buttressed his own theory of science, often referred to as mere commodism, with the impossibility of crucial experiment. He did so at no less a public forum than the World Congress of Philosophy held in Paris in 1900. Obviously, he did not expect anyone in that gathering to know of Duhem's essay published in a Catholic quarterly such as the *Revue des questions scientifiques*. But one present, Jacques Hadamard, a lifelong friend of Duhem from their days at the Ecole Normale, and since 1898 professor of mathematics at the Sorbonne, called public attention to Duhem's essay and the discussion in it of the impossibility of crucial experiment. Even more damaging must have been Hadamard's pointing out that Poincaré used as illustration one already developed by Duhem, namely, the conceptual complexity of any electrical measurement. Poincaré simply left unanswered Hadamard's intervention.

Poincaré's familiarity with Duhem's essay could possibly have come through a reprint sent by Duhem to him, one of the three professors of mathematics who passed a most favorable judgment in 1887 on his second doctoral thesis. Or quite possibly Poincaré was one of those who read the *Revue des questions scientifiques* without ever referring to it. Such an attitude was a variant of Harnack's policy, "Catholica non leguntur," a policy valid not only in the Second Reich and in Renan's France, but also in Herbert Spencer's Great Britain.

Behind the *Revue* there was the Société scientifique de Bruxelles, founded by Père Carbonelle, a Belgian Jesuit. One fifth of the Académie des Sciences of Paris were members of the Société around 1900, when it celebrated its twenty-fifth anniversary. Its membership included many younger French scientists, one of them Duhem himself. His essays, here reprinted, earned him much esteem in the Société which asked him to be one of the main speakers at that jubilee celebration. The *Revue's* debt to

Duhem was as much as Duhem's debt to it. The gain was particularly strong when in 1903 Duhem began to publish in quarterly instalments in the *Revue* his first major historical work, *Les origines de la statique*. By then Duhem knew that a year earlier the *Revue générale des sciences* in Paris would not have invited him to contribute a series, which came out in book form as *L'évolution de la mécanique*, had the *Bruxelles Revue* not served as a forum for these essays. For when in 1894, obviously under the impact of the first four of these essays, the *Revue des deux mondes*, the leading biweekly in France, invited him to contribute a series on thermodynamics, the project was suddenly terminated, on "higher orders," shortly after it had made a brilliant début. Those behind that order were also affiliated with the *Revue de métaphysique et de morale*, founded in 1893, the only appropriate organ for publications like these essays, an organ in which no article of Duhem was to appear until 1916.

Two of these essays are essay-reviews. In one of them Duhem first shows his ability to use the history of mechanics as illustrative of the truth of his idea of physical theory out of which all "underlying substances", the ether in particular, were vigorously excluded. The essay contains far more than *La théorie physique* or any other publication of Duhem on the internal contradictions of mechanistic physics which culminate in the mutually exclusive properties given to the ether. The other essay-review also contains far more than *La théorie physique* about Duhem's views on the Anglo-Saxon manner of doing physics.

Particularly noteworthy should seem in this connection the high level of Duhem's awareness of the limitations of his own physical theory. They all derive from the fact that these essays, no less than *La théorie physique*, are addressed not so much to physicists in general as to French physicists. When in the fourth essay Duhem pleads for complete logical rigor, because its lack, however slight, would harm the perfection of physics, he pleads for a perfection proper to the French mind. With astonishing frankness he is ready to leave the making of most discoveries (one may say today, Nobel Prizes) to the Anglo-Saxons strong in imaginative powers. Unlike most 20th-century philosophers of science, who lead their readers along all sorts of detours before they reveal something of the truly intended final destination, Duhem is frankness incarnate from the very start. About "scholarly" disdain for utter frankness, he would likely say today that such frankness is the only method which convinces in the long run, a variant on his coupling logic with patience.

The almost hundred years that have now gone by since the publication of these essays prove that freshness is a hallmark of genius. The six years (1887-1893) Duhem spent in Lille were the full blossoming in him of the physicist and of the philosopher. The essay-review on the ether and the

sixth essay, which he wrote three years after he had left Lille, show enough of the historian of whom in 1960 it was declared at a blue-ribbon gathering of historians of science: "Pierre Duhem is the master of us all." Nor does the entire history of the philosophy of science in the 20th century show a greater master than Pierre Duhem. That Duhem was also a prophet has a telling proof in the fact that his incisive mind and massive scholarship have been appreciated less in his own country than in the Anglo-Saxon world. His numerous admirers there are meant to be served by the Introduction and Index in their own tongue.

Seton Hall University

Stanley L. Jaki





# QUELQUES RÉFLEXIONS

AU SUJET DES THÉORIES PHYSIQUES (1)

---

## § 1. — *Du but de la physique théorique.*

L'esprit humain, mis en présence du monde extérieur pour le connaître, rencontre d'abord le domaine des faits. Il voit qu'un morceau d'ambre, frotté par un chiffon de laine, attire à distance une balle de sureau que soutient un fil de soie ; qu'un morceau de verre, frotté avec un chiffon de laine, agit de même ; qu'un morceau de cuivre, frotté avec le même chiffon de laine, agit encore de même, pourvu que le morceau de cuivre et le chiffon de laine soient tous deux portés par un manche de verre, etc. Chaque observation, chaque expérience nouvelle lui apporte un fait nouveau.

La connaissance d'un grand nombre de faits forme un amas confus qui constitue proprement l'*empirisme*.

(1) Leçons d'ouverture du *Cours de Physique mathématique et de Cristallographie* de la Faculté des sciences de Lille.

Cette connaissance des faits particuliers n'est que le premier degré de la connaissance du monde extérieur. Par l'induction, l'esprit, transformant les faits dont la connaissance lui est donnée, arrive à la connaissance des *lois expérimentales*. Ainsi, les faits que nous avons cités tout à l'heure, les autres faits analogues qu'il peut observer, l'amènent, par induction, à cette loi : Tous les corps, convenablement frottés, deviennent aptes à attirer une balle de sureau suspendue à un fil de soie ; créant un mot nouveau, pour exprimer la propriété générale qu'affirme cette loi, il dit : par un frottement convenable, tous les corps s'électrisent.

Aux philosophes, il appartient d'analyser le mécanisme du procédé inductif qui permet de passer des faits aux lois ; de discuter la généralité et la certitude des lois ainsi établies. Je ne veux pas plus aborder ici l'examen de ces questions qu'étudier la connaissance même des faits.

La connaissance des lois expérimentales constitue la *science purement expérimentale*, aussi élevée au-dessus de l'empirisme que la loi l'est au-dessus du fait particulier.

Mais la science purement expérimentale n'est pas le dernier terme de la connaissance du monde extérieur. Au-dessus d'elle est la *science théorique*. Ce que nous nous proposons d'étudier, c'est la nature de cette science, en prenant pour exemple la théorie la plus voisine de la perfection, celle qui a reçu le nom de *physique mathématique*.

La science théorique a pour but de soulager la mémoire et de l'aider à retenir plus aisément la multitude des lois expérimentales. Lorsqu'une théorie est constituée, le physicien, au lieu d'avoir à retenir isolément une multitude de lois, n'a plus à garder le souvenir que d'un petit nombre de définitions et de propositions énoncées dans le langage des mathématiques ; les conséquences que l'analyse lui permet de déduire logiquement de ces propositions n'ont aucune relation de *nature* avec les lois qui

forment l'objet propre de ses études; mais elles lui en fournissent une image; cette image est plus ou moins ressemblante; mais, lorsque la théorie est bonne, cette image suffit à remplacer la connaissance de la loi expérimentale dans les applications que le physicien veut en faire.

Expliquons tout cela en analysant comment se constitue une théorie physique.

## § 2. — *Des définitions en physique théorique.*

En premier lieu, le physicien, désireux de constituer la théorie qui réunira un ensemble de lois, prend les unes après les autres les diverses notions physiques sur lesquelles portent ces lois. A chacune de ces notions physiques, il fait correspondre une grandeur, algébrique ou géométrique, dont les propriétés représentent les propriétés les plus immédiates des notions physiques correspondantes.

Ainsi, s'agit-il de constituer la théorie de la chaleur? Les lois les plus élémentaires qu'il s'agit de coordonner par cette théorie font intervenir une notion, celle de *chaud*. Cette notion présente certains caractères immédiats : par exemple, nous comprenons que deux corps, de même nature ou de nature différente, soient aussi chauds l'un que l'autre; que l'un d'eux soit plus chaud ou moins chaud que l'autre; que deux parties d'un même corps soient ou ne soient pas aussi chaudes l'une que l'autre; nous savons que si le corps A est plus chaud que le corps B et le corps B plus chaud que le corps C, le corps A est plus chaud que le corps C.

Ces caractères, essentiels à la notion de *chaud*, ne permettent pas de *mesurer* l'objet de cette notion, de le regarder comme une *grandeur*.

En effet, pour qu'un objet soit mesurable, il faut que la

notion que nous avons de cet objet présente non seulement tous les caractères que nous venons d'énumérer, mais encore le caractère d'*addition*. Or le chaud n'est pas conçu par nous comme susceptible d'addition; nous savons bien ce que veulent dire ces phrases : le corps A est aussi chaud que le corps B ; le corps A est plus chaud que le corps B ; mais nous ne comprenons pas ce que veulent dire des énoncés tels que ceux-ci : le *chaud* du corps A est égal au *chaud* du corps B plus le *chaud* du corps C ; le corps A est dix-sept fois plus chaud que le corps B ; est trois fois moins chaud que le corps B.

Ainsi le chaud n'est pas conçu par nous comme susceptible d'addition; cette notion n'est pas pour nous réductible à une grandeur.

Mais si la notion de chaud n'est pas réductible à une grandeur, cela n'empêche nullement le physicien de lui faire correspondre une certaine grandeur qu'il appelle *la température* et qu'il choisit de manière que ses propriétés mathématiques les plus simples *représentent* les propriétés de la notion de chaud.

Ainsi, le chaud se présente comme un caractère propre à chacun des points d'un corps; nous concevons chacun des points d'un corps comme étant aussi chaud, moins chaud, plus chaud, que tout autre point; à chaque point d'un corps nous ferons correspondre une valeur déterminée de la température.

La notion de chaud n'implique aucune notion de direction. On ne comprendrait pas ce que voudrait dire cette phrase : au point M d'un corps il fait plus chaud suivant la direction MN que suivant la direction MN'; la température sera donc une simple quantité algébrique et non une grandeur géométrique.

A deux points aussi chauds l'un que l'autre, nous ferons correspondre deux valeurs égales de la température; à deux points inégalement chauds nous ferons correspondre deux valeurs inégales de la température; et cela de manière

que la valeur la plus élevée de la température corresponde au point le plus chaud.

Cette opération établit une correspondance entre la notion de chaud et la grandeur algébrique que nous nommons la température. Entre ces deux idées, le chaud et la température, il n'y a aucune espèce de relation de *nature* : le chaud nous est agréable ou désagréable ; il nous réchauffe ou nous brûle ; la température peut être ajoutée à une autre température, être multipliée ou divisée par un nombre.

Mais, en vertu de la correspondance établie entre ces deux idées, l'une devient le *symbole* de l'autre, en sorte qu'en m'apprenant que la température d'un corps a une valeur déterminée, on m'apprend quels sont les corps qui sont aussi chauds, moins chauds, plus chauds que ce corps.

En vertu de cette correspondance, toute loi physique relative au chaud, loi énoncée par une proposition du langage ordinaire, est traduite symboliquement par une proposition mathématique concernant la température.

Ainsi, au lieu de dire que tous les points d'un corps sont aussi chauds les uns que les autres, nous dirons que la température a la même valeur en tous les points de ce corps.

Au lieu de dire que le corps A est plus chaud que le corps B, nous dirons que la température du corps A a une plus grande valeur que la température du corps B.

L'exemple que nous venons de développer nous met nettement en évidence les caractères généraux que présente la définition d'une quantité physique. Ce que nous venons de dire de la température pourrait se répéter, au moins dans ce qu'il y a d'essentiel, de toutes les définitions de grandeurs que l'on trouve au début d'une théorie physique quelconque. On le voit, les définitions physiques constituent un véritable vocabulaire : de même qu'un dictionnaire français est un ensemble de conventions faisant correspondre à chaque objet un nom, de même, dans une

théorie physique, les définitions sont un ensemble de conventions faisant correspondre une grandeur à chaque notion physique.

Parmi les caractères essentiels que présente une semblable définition, il en est un que nous voulons surtout mettre en évidence : c'est qu'une semblable définition est, à un haut degré, arbitraire. Tandis qu'en géométrie il ne peut y avoir qu'une bonne définition d'une notion donnée, de l'angle droit, par exemple, en physique il peut y avoir une infinité de définitions d'une notion, par exemple de la notion de température ou de la notion d'intensité lumineuse.

La notion physique qu'il s'agit de représenter possède un certain nombre de propriétés fondamentales. La grandeur destinée à la symboliser doit présenter un certain nombre de caractères propres à représenter ces propriétés. Mais toute grandeur qui présente ces caractères peut être prise pour symbole de la notion physique dont il s'agit.

Ainsi la température doit présenter les caractères suivants :

Elle a la même valeur pour deux corps également chauds ;

Elle a une plus grande valeur pour le corps A que pour le corps B si le corps A est plus chaud que le corps B.

Mais toute grandeur qui présente ces deux caractères peut être prise pour *température* ; peu importent les autres propriétés qui servent à compléter cette définition ; peu importe que la température soit définie par des rapports de volumes, de pressions, de forces électromotrices, etc.

### § 3. *Des hypothèses en physique théorique.*

La définition des diverses grandeurs propres à symboliser les notions sur lesquelles portera une théorie constitue la première des opérations dont sortira cette théorie.

Voyons par quelle série d'opérations la théorie pourra ensuite se développer et s'achever.

Entre les diverses grandeurs que nous supposons définies, nous établirons un certain nombre de relations, exprimées par des propositions mathématiques, relations que nous nommerons les *hypothèses*.

Les hypothèses étant prises comme principes, nous en développerons logiquement les conséquences.

Parmi ces conséquences, il en est qui, en vertu des définitions posées, pourront se traduire en propositions portant uniquement sur des notions physiques, c'est-à-dire en propositions présentant la forme de lois expérimentales. Ces conséquences sont ce que l'on nomme les *conséquences vérifiables expérimentalement* de la théorie.

Ces conséquences expérimentalement vérifiables de la théorie se rangeront en deux classes : les conséquences qui se traduisent par une loi expérimentale exacte ; les conséquences dont la traduction est en contradiction avec une loi expérimentale.

Si les conséquences de la théorie que l'expérience confirme forment un ensemble étendu et varié, la théorie aura rempli le but qui lui était assigné ; elle permettra aux physiciens d'oublier toutes les lois expérimentales que, par son moyen, il leur est loisible de retrouver, pour garder seulement le souvenir de quelques définitions et de quelques hypothèses ; la théorie sera bonne.

Si au contraire la théorie ne fournit qu'un petit nombre de conséquences vérifiées par l'expérience, elle n'aura pas rempli son but de coordination ; elle sera mauvaise.

Tout cela est très facile à comprendre ; il est inutile que nous insistions. Mais il est un point aussi délicat qu'important sur lequel il est nécessaire de revenir : nous voulons parler du choix des hypothèses. Ces propositions destinées à servir de principes à la théorie, comment serons-nous conduits à les énoncer ? d'après quelles règles les choisirons-nous ?

En principe, nous sommes absolument libres de faire ce choix comme bon nous semble ; pourvu que les consé-



quences logiquement déduites de ces hypothèses par l'analyse mathématique nous fournissent le symbole d'un grand nombre de lois expérimentales exactes, nul n'a le droit de nous demander compte des considérations qui nous ont dicté ce choix.

C'est ce qu'exprimait si bien Nicolas Copernic au début de son livre : *De revolutionibus cœlestibus, libri sex*, en disant :

*“ Neque enim necesse est eas hypotheses esse veras; imo, ne verisimiles quidem; sed sufficit hoc unum, si calculum observationibus congruentem exhibeant. ”*

Mais, en fait, il est bien certain que ce choix ne se fait pas au hasard. Il existe des méthodes générales selon lesquelles sont prises les hypothèses fondamentales de la plupart des théories, et classer ces méthodes, c'est en même temps classer les théories.

La méthode idéale et parfaite consisterait à ne pas prendre d'autres hypothèses que la traduction symbolique, en langage mathématique, de quelques-unes des lois expérimentales dont on veut représenter l'ensemble. Dans ces conditions, le développement de la théorie serait lui-même, tout entier, la traduction symbolique, en langage mathématique, d'un raisonnement susceptible d'être formulé en langage ordinaire; ce raisonnement prendrait pour principes les lois expérimentales qu'ont symbolisées les hypothèses; il aurait pour conclusions les lois expérimentales que symbolisent les conséquences de la théorie. L'analyse mathématique ne jouerait d'autre rôle que celui d'abrégé, d'alléger le langage. Toutes les conséquences de la théorie présenteraient le même degré de certitude, d'exactitude, que les lois expérimentales prises pour hypothèses. Les lois expérimentales qui s'offriraient comme conséquences de la théorie seraient vraiment une suite logique des lois expérimentales prises pour hypothèses.

Une telle théorie ne présenterait absolument rien

d'*hypothétique*; son auteur pourrait à juste titre prononcer le fameux *hypotheses non fingo* de Newton.

Disons-le de suite : la physique nous présente plusieurs théories qui s'approchent plus ou moins de cet idéal ; elle ne nous en offre aucune qui le réalise pleinement ; Newton peut lancer l'*hypotheses non fingo* ; Ampère peut intituler son ouvrage : *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience* ; en fait, il est aisé de montrer que leurs hypothèses ne sont pas la simple traduction symbolique des lois expérimentales.

Nous retrouverons, dans ce cours, la théorie d'Ampère ; nous aurons occasion d'étudier en détail les hypothèses sur lesquelles elle repose. Laissons-la donc de côté pour le moment et prenons la théorie de l'attraction universelle.

Quelles sont les lois expérimentales sur lesquelles elle repose ? Les lois de Képler. Quelle est la traduction exacte de ces lois dans le langage symbolique que créent les définitions de la mécanique rationnelle ?

« Le soleil exerce sur chaque planète une force attractive en raison inverse du carré de la distance du soleil à la planète. Les forces exercées par le soleil sur diverses planètes sont entre elles comme les masses de ces planètes. Les planètes n'exercent aucune force sur le soleil. »

Est-ce là l'hypothèse fondamentale sur laquelle repose la théorie de Newton ? Nullement. Cette proposition que nous venons d'énoncer, Newton la corrige ; puis il lui adjoint une nouvelle proposition non vérifiable par l'expérience ; puis il généralise le résultat obtenu.

Newton corrige, avons-nous dit, la proposition précédente : au lieu que, d'après les lois de Képler, les planètes n'exercent aucune action sur le soleil, Newton énonce que toute planète exerce sur le soleil une action égale et directement opposée à celle qu'elle en reçoit.

Newton se contente-t-il de cette correction ? Non, il ajoute une proposition que l'expérience ne lui fournit pas : à savoir, que si le soleil était remplacé par un autre corps,

les actions exercées sur les diverses planètes seraient multipliées par le rapport de la masse de ce nouveau corps à la masse du soleil.

Est-ce tout? Non encore; Newton généralise le résultat obtenu, et c'est seulement par cette généralisation qu'il peut énoncer le principe fondamental de sa théorie :

Deux corps matériels, dont les dimensions sont négligeables par rapport à leur distance, sont soumis à une attraction mutuelle proportionnelle au produit des masses des deux corps et en raison inverse du carré de la distance qui les sépare.

Qu'a donc fait Newton? A-t-il pris pour hypothèse la traduction symbolique d'une ou de plusieurs lois expérimentales? Nullement. Il a pris pour hypothèse une proposition dont les lois expérimentales placées au début de sa théorie sont seulement des conséquences particulières, exactes ou simplement approchées.

C'est là le procédé général employé par tous les théoriciens. Pour formuler leurs hypothèses, ils font choix de quelques-unes des lois expérimentales dont l'ensemble doit être embrassé par leur théorie; puis, par voie de correction, de généralisation, d'analogie, ils composent une proposition dont ces lois soient des conséquences exactes ou simplement approchées, et c'est cette proposition qu'ils prennent pour hypothèse.

Les hypothèses sur lesquelles repose toute théorie étant non pas la traduction adéquate des lois expérimentales, mais le résultat d'une élaboration plus ou moins considérable portant sur ces lois, on conçoit que tous les intermédiaires puissent exister entre l'hypothèse qui symbolise presque immédiatement la loi expérimentale, l'hypothèse voisine de l'idéal dont nous parlions il y a un instant, et l'hypothèse si éloignée de l'expérience que sa signification symbolique est presque complètement dissimulée, qu'elle a perdu presque tout sens physique.

§ 4. *Des bornes d'une théorie et des modifications qu'elle peut subir.*

Si toutes les hypothèses sur lesquelles repose une théorie étaient simplement la traduction symbolique de lois expérimentales, toutes les conséquences de la théorie seraient traduisibles en des lois dont le degré de certitude, dont le degré d'exactitude, seraient exactement le degré de certitude et d'exactitude des lois prises comme hypothèses. Mais, nous l'avons dit, les hypothèses sur lesquelles repose une théorie ne sont jamais la traduction exacte de lois expérimentales. Toutes, elles résultent d'une modification plus ou moins profonde imposée à des lois expérimentales par l'esprit du théoricien.

Or, de ce que les hypothèses sur lesquelles repose une théorie renferment quelque chose qui n'était pas dans les lois expérimentales par lesquelles elles ont été suggérées, il suit que la certitude et l'exactitude de ces lois ne se retrouvent pas tout entières dans les conséquences de la théorie. Les lois physiques que symboliseraient les conséquences de la théorie peuvent ne pas être toutes exactes. On peut mettre en fait que, quelque vaste et sûre que soit une théorie physique, lorsqu'on la pousse suffisamment loin elle aboutit toujours à des conséquences contraires à l'expérience.

Nous l'avons déjà dit, mais l'assertion est si importante qu'elle vaut la peine que nous y insistions : une bonne théorie n'est pas une théorie dont aucune conséquence n'est en désaccord avec l'expérience ; à prendre cette toise, il n'y aurait aucune bonne théorie ; il est même vraisemblable que la création d'une bonne théorie surpasserait les forces de l'esprit humain. Une bonne théorie, c'est une théorie qui symbolise d'une manière suffisamment approchée un ensemble étendu de lois physiques ; qui ne rencontre de contradictions dans l'expérience que lorsqu'on

cherche à l'appliquer en dehors du domaine où l'on en veut faire usage.

De là il résulte que la valeur d'une théorie est un caractère tout relatif. Il dépend de l'ensemble de lois à la classification systématique desquelles la théorie doit être employée. Telle théorie, bonne pour classer les lois de la distribution sur les corps conducteurs homogènes (telle est la théorie de Poisson), cesse d'être une bonne théorie si l'on veut classer les lois relatives à tous les corps conducteurs, homogènes ou hétérogènes ; ou bien encore si l'on veut comprendre dans un même système les lois de la distribution sur les corps conducteurs et sur les corps diélectiques.

La valeur d'une théorie ne dépend pas seulement de l'ensemble des lois que l'on prétend résumer par cette théorie ; elle dépend encore du degré de précision des méthodes expérimentales qui servent à établir ou à appliquer ces lois ; en effet, on ne demande pas à une conséquence de la théorie de traduire une loi physique formellement identique à la loi expérimentale que l'on a en vue de représenter ; on lui demande seulement de traduire une loi physique dont les écarts par rapport à cette loi expérimentale soient inférieurs à la limite des erreurs d'observation ; c'est, en effet, un principe que l'on ne doit jamais oublier : en physique, deux lois, différentes de forme, doivent être regardées comme identiques si leurs écarts ne peuvent être constatés par les méthodes d'observation dont on dispose.

Dès lors, certaines conséquences d'une théorie pourront être regardées comme conformes aux lois expérimentales par un physicien qui dispose de moyens d'observation donnés, et comme contraires aux lois expérimentales par un autre physicien qui dispose de moyens d'observation plus parfaits, capables d'apprécier des écarts qui échappaient aux instruments du premier.

La théorie classique des gaz, par exemple, était bonne

pour les physiciens lorsque leurs instruments offraient le même degré de précision que ceux de Gay-Lussac. Lorsque le génie inventif de Regnault eut doté la science de procédés beaucoup plus subtils, cette théorie devint mauvaise.

Il y a plus : l'ancienne théorie des gaz, mauvaise pour un physicien dont les recherches réclament toute la précision exigée aujourd'hui, peut demeurer bonne pour un ingénieur, pour un chimiste, si leurs recherches ne réclament pas une exactitude plus grande que celle dont on se contentait au temps de Gay-Lussac.

Ainsi une théorie ne peut être jugée, si l'on ne prend en considération les limites du champ auquel elle prétend s'appliquer et le degré de précision expérimentale qu'elle suppose. Si quelqu'une de ses conséquences, comprise dans les limites du champ pour lequel la théorie se prétend valable, s'écarte d'une loi expérimentale assez pour que l'écart puisse être apprécié par les méthodes d'observation dont la théorie déclare accepter le contrôle, la théorie doit être condamnée; sinon, elle doit être approuvée.

Ce que nous venons de dire montre que l'on peut, sans contradiction, considérer une théorie comme bonne et proposer de la remplacer par une théorie meilleure. La première théorie représentait avec une approximation donnée un ensemble donné de lois expérimentales; la nouvelle théorie représentera un ensemble plus étendu de lois, ou bien représentera les mêmes lois avec une approximation plus grande.

Pour remplacer une théorie par une théorie plus parfaite, il n'est pas toujours, il n'est presque jamais nécessaire de détruire entièrement la première. Très souvent il suffit de former une théorie plus complète, où les définitions, les hypothèses de la première théorie se retrouvent en entier, mais où de nouvelles définitions sont introduites, où de nouvelles hypothèses sont énoncées. C'est ainsi qu'après

avoir traité la théorie de la distribution électrique sur des systèmes qui ne renferment que des corps conducteurs, on peut, sans rien perdre de cette théorie, la compléter de manière qu'elle comprenne aussi les lois de la distribution sur les systèmes qui renferment à la fois des corps conducteurs et des diélectriques.

Parfois, une théorie ne peut être remplacée par une théorie plus parfaite qu'au moyen de transformations plus profondes, qui altèrent les définitions et les hypothèses sur lesquelles reposait la première théorie. Il est aisé de comprendre comment de semblables transformations sont possibles.

La définition d'une grandeur physique implique toujours un haut degré d'arbitraire. Cette grandeur doit présenter un certain nombre, en général assez limité, de caractères qui lui sont imposés par la notion même qu'elle doit symboliser. Mais toute grandeur qui présente ces caractères est propre à symboliser cette notion. En sorte que, pour représenter une même notion, on pourra, en général, faire usage d'une foule de grandeurs extrêmement différentes.

Le simple changement des définitions conduirait déjà à changer les hypothèses. Une même loi expérimentale sera symbolisée par deux énoncés mathématiques différents, si les notions sur lesquelles elle porte sont représentées par des grandeurs différentes. Mais cette modification, purement formelle, peut être regardée comme n'étant pas une véritable transformation de l'hypothèse; c'est simplement une traduction de la même hypothèse au moyen de symboles différents, et ces deux énoncés d'une même hypothèse dans deux systèmes de symboles différents ne constituent pas plus deux hypothèses différentes que les énoncés d'une même proposition en français, en latin et en grec ne constituent trois propositions différentes.

Une hypothèse peut être modifiée d'une manière qui atteint plus profondément sa signification.

Si une hypothèse était simplement la traduction symbolique d'une loi expérimentale, elle ne pourrait être modifiée que de la manière que nous venons d'indiquer, du moins tant que la loi expérimentale continuerait à être considérée comme exacte. Mais en réalité, nous l'avons dit, toutes les hypothèses sont autre chose que la simple traduction d'une loi expérimentale ; elles sont toutes le résultat d'une transformation imposée à la loi expérimentale par l'esprit du physicien ; et c'est par là qu'elles sont modifiables ; deux physiciens différents peuvent faire subir à une même loi expérimentale une transformation différente, par conséquent énoncer deux hypothèses différentes, construire deux théories différentes, aboutir à des conséquences différentes.

Ainsi, plus les hypothèses sur lesquelles repose une théorie seront voisines de cette forme idéale qui est la simple traduction symbolique d'une loi expérimentale, plus il sera difficile de les modifier ; plus, par conséquent, la théorie aura chance de durer autant que les lois expérimentales qu'elle représente ; de se modifier seulement par voie d'extension et d'accroissement, sans être ni altérée, ni détruite. Plus, au contraire, les hypothèses seront éloignées des lois expérimentales qui les ont fait concevoir ; plus le physicien aura mis du sien dans leur énoncé, et plus la théorie sera chancelante et sujette à démolition. En sorte que, dès maintenant, les considérations purement logiques que nous venons de développer nous indiquent dans quel sens le théoricien doit diriger ses efforts, s'il veut donner le jour à une œuvre viable.

### § 5. *Des théories mécaniques.*

Il s'en faut bien que les efforts des théoriciens aient toujours été dirigés dans le sens que nous venons d'indiquer. Leur idéal a été pendant très longtemps, est encore



aujourd'hui, pour beaucoup d'entre eux, extrêmement différent de celui vers lequel nous croyons qu'il faut tendre ; c'est à cette tendance erronée que l'on doit attribuer les incessants bouleversements qu'a subis la Physique théorique et, partant, le discrédit où cette science est tombée dans l'esprit de beaucoup de physiciens.

Ce faux idéal, c'est la *théorie mécanique*.

Cherchons d'abord à nous rendre compte exactement de la nature de ce qu'on nomme une théorie mécanique.

Nous avons vu qu'à chaque notion physique, la théorie devait substituer, à titre de symbole, une certaine grandeur ; que cette grandeur était astreinte à présenter certaines propriétés, traduction immédiate des caractères de la notion qu'elle symbolise ; mais, qu'à part ces caractères, en général peu nombreux, sa définition demeurerait absolument arbitraire. Dans une théorie mécanique, on impose en outre à toutes les grandeurs physiques sur lesquelles portent les lois que l'on va avoir à relier entre elles la condition d'être composées au moyen des éléments géométriques et mécaniques d'un certain système fictif ; à toutes les hypothèses, d'être l'énoncé des propriétés dynamiques de ce système.

Prenons, par exemple, la théorie de la lumière. Nous y trouvons certaines notions, celle de couleur, celle d'intensité d'une lumière monochromatique. Ces notions présentent un certain nombre de caractères que devront reproduire les grandeurs qui les symboliseront dans une théorie quelconque. La couleur, par exemple, devra être symbolisée par une grandeur ayant pour chaque couleur une valeur déterminée, et des valeurs différentes pour des couleurs différentes. L'intensité devra être représentée par une grandeur toujours positive, ayant la même valeur en deux points également éclairés, une valeur plus grande au point A qu'au point B si le point A est plus éclairé que le point B. Les lois expérimentales de la propagation de la lumière, des interférences, de la réflexion, de la

réfraction, de la dispersion, lois généralisées au besoin, se traduiront par une série d'hypothèses reliant entre elles ces diverses grandeurs. L'ensemble de ces hypothèses formerait le point de départ d'une *théorie physique* de la lumière.

Ce n'est pas ainsi, par une simple généralisation de lois expérimentales, que nous obtiendrons nos hypothèses, si nous voulons créer une *théorie mécanique* de la lumière. Nous admettrons que toutes les notions physiques que l'on rencontre en étudiant les phénomènes lumineux doivent être représentées par les propriétés mécaniques d'un certain milieu, l'éther. Nous chercherons à imaginer la constitution de ce milieu de façon que ses propriétés mécaniques puissent former un symbole de toutes les lois de l'optique. La couleur sera alors symbolisée par la période d'un certain mouvement vibratoire propagé dans ce milieu ; l'intensité, par la force vive moyenne de ce mouvement ; et les lois de la propagation de la lumière, de sa réflexion, de sa réfraction, devront résulter de l'application à ce milieu des théorèmes fournis par l'Élastique. C'est ainsi que se forme la théorie classique de la lumière.

Beaucoup de physiciens ne veulent pas d'autre théorie qu'une théorie mécanique ; avec Huygens, ils pensent par là être « dans la vraie Philosophie, dans laquelle on conçoit la cause de tous les effets naturels par des raisons de mécanique. Ce qu'il faut faire, à mon avis, ou bien renoncer à toute espérance de jamais rien comprendre dans la Physique. »

Ils exigent que toute grandeur physique soit composée avec les seules grandeurs qui définissent les propriétés mécaniques d'un certain système matériel.

Mais leurs exigences ne s'arrêtent pas toujours là. En général, d'autres obligations, variables avec l'école à laquelle ils appartiennent, viennent se greffer sur celles-là. Pour les uns, le système matériel doit être formé de milieux continus ; pour les autres, d'atomes isolés ; les uns

admettent entre les divers éléments matériels des forces attractives ou répulsives; d'autres rejettent l'existence de semblables forces et veulent que les atomes matériels puissent agir seulement au contact conformément aux lois du choc.

Ainsi, lorsque nous nous proposons simplement de construire une théorie physique, les grandeurs que nous définissons, les hypothèses que nous énonçons ne sont soumises qu'aux conditions que leur imposent d'une part les lois expérimentales, d'autre part les règles de l'algèbre et de la géométrie. Lorsque nous nous proposons de construire une théorie mécanique, nous nous imposons en outre l'obligation de ne faire entrer dans ces définitions et ces hypothèses qu'un nombre très restreint de notions d'une nature déterminée.

Le premier inconvénient d'une semblable méthode, c'est qu'en restreignant le nombre des éléments au moyen desquels doit être construit le symbole d'un ensemble de lois, on ne laisse d'autre ressource au physicien, pour répondre à toutes les exigences de l'expérience, que de compliquer les combinaisons qu'il forme avec ces éléments.

Imaginons deux artistes auxquels on demande de représenter la forme d'un même objet; à l'un, on permet l'emploi de toutes les ressources que lui fournissent les arts du dessin; à l'autre, on ne permet que l'emploi du trait. Le premier, par le jeu des ombres, pourra, sur une seule épure, nous donner de l'objet une représentation que le second égalera à grand'peine en dessinant un grand nombre de profils. Le premier artiste est l'image du physicien qui compose une théorie physique, le second, du physicien qui construit une théorie mécanique. Que l'on examine la complication des milieux imaginés par sir W. Thomson pour rendre compte des lois de l'optique, par Maxwell pour représenter les phénomènes électriques, et l'on comprendra la justesse de cette comparaison.

La méthode qui repousse toute théorie non mécanique

conduit à de grandes complications; il se peut fort bien aussi qu'elle se heurte à des impossibilités. Qui nous assure que toutes les notions physiques, que toutes les lois expérimentales pourront être symbolisées par une combinaison, même très compliquée, des seuls concepts mécaniques? Prenez cet artiste, à qui vous interdisez tout autre procédé que le trait, et demandez-lui de rendre la couleur de l'objet qu'il a devant les yeux : il ne pourra le faire. N'est-ce pas pour une raison analogue que les théories mécaniques les plus complexes n'ont pu, jusqu'ici, rendre un compte satisfaisant du principe de Carnot?

Ainsi, bien loin que la théorie mécanique nous apparaisse comme la théorie idéale, nous la regardons comme une théorie gênée par des entraves qui lui imposent une forme étriquée et parfois même rendent son développement impossible. Nous avons vu qu'une théorie offrait d'autant plus de garanties d'exactitude et de durée que les hypothèses sur lesquelles elle repose étaient plus voisines de la simple traduction des lois expérimentales. Or, parmi les hypothèses sur lesquelles repose une théorie mécanique, il en est un grand nombre qui n'ont pas l'expérience pour source et qui découlent seulement des conventions exigeantes arbitrairement posées par le physicien. Ces hypothèses-là sont le germe qui tue toutes les théories mécaniques.

En effet, les théories mécaniques disparaissent de la science les unes après les autres.

Lorsqu'on compare aux lois expérimentales les conséquences d'une théorie mécanique, on trouve des conséquences vérifiées et des conséquences contredites; lorsqu'on remonte de ces conséquences aux hypothèses sur lesquelles repose la théorie, on trouve presque invariablement que les conséquences vérifiées découlent de celles des hypothèses qui traduisent simplement les lois expérimentales; tandis que les conséquences contredites découlent de celles des hypothèses qu'impose la nature mécanique de

la théorie. Aussi les physiciens sont-ils amenés peu à peu à supprimer ces dernières hypothèses pour ne garder que les premières; à transformer une théorie mécanique en une théorie physique. C'est ainsi, par exemple, que la branche de la science qui a été longtemps présentée comme la *Théorie mécanique de la Chaleur*, est devenue graduellement, sous le nom de *Thermodynamique*, l'une des plus parfaites des théories *physiques*.

§ 6. *La physique théorique n'est pas une explication métaphysique du monde matériel.*

Si la théorie mécanique, bien loin d'être la théorie idéale, se présente à peu près comme la théorie la plus éloignée de l'idéal, comment expliquer la vogue qui la fait considérer par tant de physiciens comme le terme suprême de la science? Nous touchons ici au nœud vital de toutes les doctrines erronées dont la physique théorique a fait l'objet.

Nous avons cherché à délimiter exactement la nature et le but de la physique théorique; elle est, avons-nous dit, un système, une construction symbolique, destinée à résumer, en un petit nombre de définitions et de principes, l'ensemble des lois expérimentales. Voilà son rôle, utile, mais modeste. Il n'est que trop aisé de l'exagérer.

Une tendance invincible nous pousse à rechercher la nature des choses matérielles qui nous environnent, la raison d'être des lois qui régissent les phénomènes que nous observons. Cette tendance entraîne tout homme, depuis le sauvage le plus superstitieux jusqu'au philosophe le plus curieux. Comment ne saisirait-elle pas avec une grande force celui dont les méditations continuelles ont pour objet le monde physique? A cette tendance, joignez le désir qu'a naturellement tout homme de grossir l'importance d'un objet qu'il a longtemps et péniblement pour-

suivi ; vous comprendrez sans peine comment le physicien est conduit à prendre les systèmes qu'il a construits en vue de représenter symboliquement les lois expérimentales pour une explication métaphysique de ces lois.

Il y a plus : non seulement tout, au dedans de lui, pousse le physicien à regarder les théories qu'il construit comme des explications de la nature ; mais encore la foule au milieu de laquelle il vit exerce sur ses idées une influence puissante dans la même direction. La foule n'a que deux manières de comprendre la physique : ou bien elle lui demande des applications immédiates qui satisfont ses besoins matériels ; ou bien elle exige d'elle une explication du monde physique qui satisfasse son ambition de tout comprendre. Aussi accueille-t-elle avec méfiance le savant prudent, celui qui définit avec une consciencieuse précision le sens et les limites des lois qu'il énonce. Mais qu'un homme présente à cette foule une théorie plus ou moins étendue comme une explication métaphysique de l'univers, elle accueillera ses enseignements avec une aveugle confiance ; elle rangera au nombre des vérités définitivement établies ces vues d'un esprit qui exagère l'importance de ses conceptions jusqu'à en fausser le caractère essentiel ; elle croira contempler la structure même du monde, et n'aura devant les yeux qu'une construction fragile, bientôt détruite pour faire place à une autre.

Le physicien est donc porté par lui-même, aussi bien que par le milieu qui l'environne, à chercher dans la théorie non une coordination systématique des lois, mais une explication de ces lois. Dès lors, ses préférences vont-elles se porter vers la forme de théorie que nous avons préconisée comme la forme idéale, ou bien vers la théorie mécanique ? Il est bien aisé de voir que la théorie mécanique lui apparaîtra comme le but vers lequel doivent tendre ses efforts.

Imaginons en effet qu'un chercheur ait bien soin, toutes les fois qu'il définit une grandeur physique, de marquer

que cette grandeur est seulement assujettie à symboliser par quelques-uns de ses caractères une notion d'origine expérimentale, et que, par ailleurs, sa définition est entièrement libre ; qu'il ait bien soin, toutes les fois qu'il énonce une hypothèse, de marquer jusqu'à quelle limite cette hypothèse est la traduction d'une loi d'expérience ; quelque étendue, quelque féconde que soit sa théorie, il lui sera bien difficile de perdre de vue son caractère exclusivement symbolique et de croire qu'il a obtenu une explication des lois qu'il a représentées.

Imaginons au contraire un chercheur qui ait construit de toutes pièces un mécanisme plus ou moins compliqué dont les diverses propriétés représentent un certain nombre de lois physiques ; il pourra bien plus aisément oublier que si certaines propriétés de son mécanisme symbolisent certaines lois du monde, son mécanisme lui-même ne représente pas le monde ; pour représenter une notion physique, il a formé une conception complexe ; il pourra croire que, de même que cette conception complexe représente la notion physique, les éléments qui composent cette conception représentent les causes qui font naître en nous cette notion. Son erreur est semblable à celle d'un mécanicien qui, voyant l'automate qu'il a construit imiter les mouvements d'un homme, finirait par s'imaginer que la structure de l'automate représente l'organisme humain.

Un exemple rendra bien palpable cette différence.

Qu'un physicien introduise dans ses théories la température, comme une grandeur destinée à symboliser la notion de chaud ; la quantité de chaleur comme une grandeur destinée à représenter le poids d'un certain corps qu'un phénomène déterminé peut échauffer d'une quantité déterminée ; qu'il introduise le principe de l'équivalence de la chaleur et du travail, le principe de Carnot, comme des généralisations de lois expérimentales ; quelque riche moisson de conséquences que lui apporte la théorie thermodynamique qu'il a conçue, il ne la prendra sûrement pas pour un système métaphysique expliquant l'univers.

Au contraire, qu'un physicien imagine un système formé d'un nombre immense de petits corps animés d'un mouvement stationnaire ; qu'il suppose la force vive moyenne de ces petits corps proportionnelle à la température absolue ; que, par des suppositions convenablement choisies sur leur nombre, leurs dimensions, les mouvements qui les animent, les forces qu'ils exercent les uns sur les autres, il arrive à déduire le principe de l'équivalence de la chaleur et du travail, voire le principe de Carnot, de l'application des théorèmes de la mécanique à ces petits corps, et il sera tenté de s'écrier : « Voilà comment est fait le monde ! »

C'est donc parce que beaucoup veulent pouvoir dire, en montrant les combinaisons qui résultent du jeu de leur esprit : « cela est l'explication de l'univers », que beaucoup ne sont point satisfaits d'une théorie si elle n'emprunte tous ses éléments à la mécanique.

A ceux qui veulent que leurs théories expliquent la nature et les causes des lois physiques, opposons celui qui ne cherche dans la physique théorique qu'un symbole de ces lois ; celui-là ne limitera pas d'avance le nombre et la nature des notions qu'il lui sera permis de combiner entre elles ; il admettra dans son système d'autres grandeurs que celles de la géométrie et de la mécanique ; lorsqu'une quantité aura été nettement définie, lorsqu'on aura posé d'une manière précise les règles d'après lesquelles elle doit être traitée dans les raisonnements et dans les calculs, mesurée dans les expériences, il ne se refusera nullement à en faire usage ; si les hypothèses faites sur cette quantité permettent de bien représenter la classe de phénomènes qu'il étudie, son esprit sera satisfait ; il ne perdra pas son temps et ses efforts à remplacer cette notion par une combinaison de concepts géométriques et mécaniques.

Ainsi, dans la théorie de la chaleur, il cherchera à poser d'une manière précise les règles suivant lesquelles on doit raisonner sur les notions de *température* et de *quan-*



*tité de chaleur*; puis, développant, en conformité avec ces règles, la chaîne de ses déductions, il en poussera les conséquences dans l'étude de la vaporisation, de la fusion, de la dissociation, de la dissolution; lorsqu'il verra une multitude de phénomènes variés et compliqués se débrouiller, se classer, se relier les uns aux autres par la théorie qu'il a conçue, il croira avoir atteint son but. Que l'on vienne lui demander de construire, à l'aide des notions d'espace, de temps et de masse, des concepts complexes jouissant de propriétés analogues à celles qu'il attribue à la température et à la quantité de chaleur, il dédaignera de satisfaire à ces exigences; qu'on lui reproche alors d'employer des *qualités occultes*, il ne se sentira pas atteint par cette critique: il a voulu classer les lois, non dévoiler les causes.

### § 7. *Du rôle des théories mécaniques dans l'histoire de la science.*

La critique à laquelle nous venons de soumettre les théories dites mécaniques soulève immédiatement une objection: si ces théories ont pour principe une idée si complètement erronée du rôle de la physique, d'où vient qu'elles aient fait faire à la physique de si grands progrès?

Cette objection mérite qu'on y réponde, car il est impossible de nier les découvertes que la science doit aux théories mécaniques. Descartes, Newton, Huygens, Laplace, Poisson, Fresnel, Cauchy, sont tous acquis à l'idée que la physique doit être purement mécanique, et nous leur devons la physique moderne. La théorie de la lumière, telle qu'elle est sortie du génie de Fresnel, a été la plus féconde des théories, et c'est une théorie mécanique.

L'objection est aisée à dissiper.

C'est toujours au début d'une science que son rôle est le

plus mal défini. Ceux qui la créent sont, plus que d'autres, portés à en exagérer la portée. Il n'est donc nullement étonnant que les créateurs de la physique théorique aient presque tous cherché à édifier des théories mécaniques. Mais ce n'est pas parce qu'ils ont fait usage de semblables théories qu'ils ont fait une abondante moisson de découvertes. Ce qui est vrai, c'est que, d'une part, les théories doivent se montrer surtout fécondes à l'origine de la physique théorique, et que, d'autre part, à l'origine de la physique théorique, les théories mécaniques doivent naturellement être en faveur. La fécondité des théories mécaniques au siècle dernier et au commencement de celui-ci n'est donc pas une suite logique de la nature de ces théories. Il y a simplement coïncidence entre leur forme mécanique d'une part, et la multiplicité et l'importance des découvertes qu'elles produisent d'autre part ; coïncidence nullement fortuite d'ailleurs, mais découlant des lois qui président au développement de la science.

C'est ainsi que, dans l'enfance, la naïveté coïncide avec l'acquisition d'une masse énorme de connaissances, sans que l'un de ces caractères puisse être regardé comme conséquence de l'autre ; l'un et l'autre coïncident simplement, et cela parce que l'un et l'autre dérivent des lois du développement de l'intelligence humaine. C'est au début de son développement intellectuel que l'enfant apprend le plus ; c'est aussi à ce début qu'il se rend le moins exactement compte de la valeur de ses connaissances.

Si l'opinion que nous émettons là est exacte, au fur et à mesure que la physique théorique se perfectionne, les physiciens les plus éminents doivent comprendre de mieux en mieux sa nature et son but ; leurs faveurs doivent peu à peu abandonner les théories mécaniques pour se porter vers les véritables théories physiques ; celles-ci doivent hériter de la fécondité que perdent celles-là. Ceux qui suivent de près l'histoire de la science à notre époque ne peuvent manquer d'avoir remarqué cette décadence des

théories mécaniques et cette importance toujours croissante des théories purement physiques.

Ainsi, ce que nous avons dit de la nature de la physique théorique nous explique les changements qu'ont subis, au cours de l'histoire, les méthodes propres à la traiter.

Il est encore une autre question historique qui peut être éclairée par les remarques précédentes.

Si le physicien cherche dans ses théories une explication des lois de la nature, il ne pourra accepter comme satisfaisante qu'une théorie conforme à ses idées métaphysiques. Si le philosophe croit trouver dans les théories développées par le physicien la raison d'être des phénomènes matériels, il s'inspirera de ces théories dans la construction de son système métaphysique. De là une action mutuelle très intime, très puissante, de la physique et de la métaphysique de chaque époque. La métaphysique cartésienne imprime son sceau non seulement à la physique de Descartes, mais aussi à celle d'Huygens, et ses caractères essentiels se retrouvent dans l'œuvre d'Euler et dans celle de Lagrange. Avec Newton, apparaît une école de physique, dont Laplace, Poisson et Cauchy sont, après le fondateur, les plus hautes personnalités; l'histoire de cette école, que l'on pourrait nommer l'*École de l'attraction moléculaire*, est intimement liée à l'histoire des idées Leibniziennes. De nos jours, certaines écoles philosophiques, celle d'Herbert Spencer par exemple, sont tout imprégnées d'idées empruntées à certaines théories thermodynamiques. C'est un point que nous nous bornons à indiquer ici en passant, mais dont la claire vue illumine l'histoire entière des théories physiques.

Au fur et à mesure que l'on se rendra mieux compte du rôle purement symbolique des théories physiques, ces théories deviendront plus indépendantes des doctrines métaphysiques en vogue, et en même temps elles renonceront à la prétention mal fondée d'imposer leur système à la métaphysique. Il se passera pour elles quelque chose

d'analogue à ce qui s'est produit pour l'analyse mathématique. Née des doctrines métaphysiques et théologiques relatives aux rapports entre l'infini et le fini, aux relations entre le surnaturel et le naturel, l'analyse mathématique a, en retour, exercé sur la métaphysique et la théologie une influence qui n'a pas toujours été exempte de prétentions tyranniques. Il a fallu le génie d'un Lagrange pour deviner, et les efforts d'un siècle de grands mathématiciens pour prouver que l'analyse mathématique avait son domaine propre, ses méthodes propres, et qu'elle ne devait ni accepter le joug de la métaphysique et de la théologie, ni leur imposer le sien.

*§ 8. Toutes les théories d'une même classe de phénomènes  
ne sont pas équivalentes.*

Nous ne sommes point seuls à professer les idées que nous venons d'exposer, et, s'il est un avis que nous soyons heureux de pouvoir invoquer à l'appui du nôtre, c'est assurément celui de l'analyste illustre qui a écrit les lignes suivantes :

« Les théories mathématiques n'ont pas pour objet de nous révéler la véritable nature des choses ; ce serait là une prétention déraisonnable. Leur but unique est de coordonner les lois physiques que l'expérience nous fait connaître, mais que, sans le secours des mathématiques, nous ne pourrions même énoncer » (1).

Le même auteur continue en ces termes :

« Les théories proposées pour expliquer les phénomènes optiques par les vibrations d'un milieu élastique sont très nombreuses et également plausibles. »

Dans ces lignes, nous croyons pressentir une tendance qui règne, en notre temps, dans tous les domaines intellectuels

(1) H. Poincaré. *Théorie mathématique de la Lumière*. Préface.

et qui commence à imposer son empire même à la Physique Mathématique : cette tendance consiste à regarder comme équivalentes les différentes théories que l'on peut donner d'un même ensemble de lois, et à les étudier toutes sans accorder de préférence à aucune d'entre elles. Nous voudrions, en quelques mots, marquer en quoi l'application de cette méthode à la Physique Théorique est illégitime et comment il est possible d'en éviter l'emploi.

Assurément, celui qui tient toute théorie physique non point pour une explication de la nature, adéquate à son objet, mais pour un système destiné à fournir le symbole d'un ensemble de lois expérimentales, se gardera bien de croire qu'une seule théorie soit capable de représenter une classe donnée de phénomènes ; autant vaudrait croire que deux portraits d'un même homme ne peuvent être différents l'un de l'autre et pourtant ressemblants.

Mais s'il est possible de faire d'un même homme une foule de portraits différents, il n'en résulte pas que l'on ne puisse raisonnablement préférer un de ces portraits aux autres ; de même, il peut se faire que différentes théories d'une même classe de phénomènes soient logiquement acceptables sans être pour cela également plausibles ; nous pouvons avoir des motifs raisonnables de préférer l'une d'entre elles.

Et d'abord, nous supposons que les différentes théories entre lesquelles il s'agit de choisir soient toutes logiquement acceptables ; car il existe des théories que la logique nous contraint de rejeter ou de modifier.

La logique laisse libre le choix des hypothèses ; mais elle exige que toutes ces hypothèses soient compatibles entre elles, qu'elles soient toutes indépendantes les unes des autres ; une théorie n'a pas le droit d'invoquer des hypothèses inutiles ; elle doit en réduire le nombre au minimum ; elle n'a pas le droit de réunir ensemble les conséquences déduites d'hypothèses inconciliables.

La série de déductions qui part des hypothèses et qui

constitue le développement de la théorie est, dans toute son étendue et en toute rigueur, soumise aux lois de la logique. Il n'est pas permis d'y dissimuler une lacune, si petite soit-elle; si cette lacune peut être comblée, elle doit l'être; si elle ne peut être comblée, elle doit, du moins, être nettement délimitée et signalée sous forme de postulat. *A fortiori*, aucune contradiction n'y peut être tolérée.

La comparaison des résultats de la théorie avec les faits est une opération qui n'est pas exclusivement soumise aux lois du raisonnement déductif; l'appréciation du degré d'approximation qui peut être regardé comme suffisant a quelque chose d'arbitraire; mais si, dans le domaine auquel la théorie prétend s'appliquer, nous rencontrons une loi expérimentale qui soit en contradiction avec les conséquences de la théorie, la théorie doit être rejetée, ou, tout au moins, on doit restreindre l'étendue de la classe de lois qu'elle prétendait embrasser.

Maintenir une théorie que les faits démentent, c'est faire preuve d'une obstination puérile. Quant à ceux — et il y en a — qui, chargés d'observer les faits, dissimulent ou faussent sciemment les résultats des expériences pour éviter la ruine d'une idée dont le succès flatte leur vanité, ce n'est plus à la logique de condamner leur erreur, mais à la morale de flétrir leur duperie.

Les règles que nous venons d'énoncer sont banales, ou, du moins, devraient l'être; elles l'étaient autrefois.

« Les anciennes théories de la Physique nous donnaient, à cet égard, une satisfaction complète. Tous nos maîtres, depuis Laplace jusqu'à Cauchy, ont procédé de la même manière. Partant d'hypothèses nettement énoncées, ils en ont déduit toutes les conséquences avec une rigueur mathématique, et les ont comparées ensuite avec l'expérience. Ils semblent vouloir donner à chacune des branches de la Physique la même précision qu'à la Mécanique céleste.

» Pour un esprit accoutumé à admirer de tels modèles, une théorie est difficilement satisfaisante. Non seulement il n'y tolérera pas la moindre apparence de contradiction, mais il exigera que les diverses parties en soient logiquement reliées les unes aux autres et que le nombre des hypothèses distinctes soit réduit au minimum » (1).

Dans notre temps, qui semble se plier avec peine aux règles de la logique, ces exigences paraissent exagérées à bien des esprits, à de grands esprits peut-être.

Prenons un exemple. Maxwell écrit un *Traité d'Électricité*; dans ce traité, il développe plusieurs théories différentes, inconciliables entre elles (2), parfois même, comme sa théorie des pressions à l'intérieur des diélectriques, contradictoires avec les principes les mieux assis de l'Hydrostatique et de l'Élasticité; il ne se préoccupe pas d'expliquer ces contradictions, de séparer le domaine de chacune de ces théories; il les mêle au contraire et les enchevêtre; les débrouiller devient une tâche tellement difficile qu'un illustre analyste ne la regarde pas comme indigne de ses efforts; à toute cette œuvre manque un contrôle expérimental précis; parfois même les faits lui donnent tort. Les physiciens, sans doute, refuseront une œuvre semblable? Ils vont la démonter pièce à pièce, gardant seulement ce qu'elle peut renfermer de bon parmi ses incohérences, pour le faire entrer dans une œuvre plus une, plus logiquement construite? Nullement: tous admirent l'œuvre du maître, tous la reproduisent dans leur enseignement, redisant ce qu'elle renferme d'incompréhensible, en avouant parfois, avec une sorte de respect superstitieux, qu'ils ne comprennent pas: à les entendre, il semblerait que la science ait le droit de proposer des mystères à notre croyance!

N'hésitons pas à repousser cette faiblesse; une théorie

(1) H. Poincaré. *Électricité et Optique*. I. *Les Théories de Maxwell*. Introduction.

(2) Voir l'ouvrage précédemment cité de M. Poincaré.

illogique n'est pas un mystère devant lequel la raison puisse s'incliner; elle est une absurdité que la raison doit rejeter sans pitié; peu importe qu'elle soit due à un grand physicien; une idée puissante peut être fausse; admirons l'auteur et condamnons l'idée.

Mais, d'une même classe de phénomènes, il peut exister plusieurs théories, toutes fondées sur des hypothèses clairement énoncées, toutes logiquement construites, toutes en accord satisfaisant avec les faits qu'elles prétendent représenter : l'Optique nous en offre un saisissant exemple (1). Logiquement, toutes ces théories sont acceptables; en résulte-t-il qu'elles soient toutes équivalentes ? Aucun criterium logique ne décide entre elles, en résulte-t-il que nous ne puissions avoir aucun motif raisonnable de préférer l'une à l'autre ?

Trois caractères peuvent nous servir à choisir entre ces différentes théories; ce sont :

L'étendue de la théorie;

Le nombre des hypothèses;

La nature des hypothèses.

Deux théories sont en présence; l'une embrasse une certaine classe de phénomènes; l'autre embrasse, dans une représentation unique, non seulement cette classe de phénomènes, mais encore d'autres classes auxquelles ne peut s'étendre le mode de représentation adopté par la première : assurément, nous devons préférer la seconde.

Ainsi, la théorie de la réflexion et de la réfraction donnée par Fresnel, bonne pour les corps amorphes, ne peut s'étendre aux cristaux; la théorie qu'ont donnée Mac Cullagh et F. E. Neumann embrasse, dans un même expose, les corps amorphes et les cristaux : cette dernière doit être préférée à la première.

Deux théories de même étendue peuvent invoquer un

(1) Voyez, F. E. Neumann. *Vorlesungen über die Theorie der Elasticität der festen Körpern und des Lichtäthers*. — H. Poincaré. *Théorie mathématique de la Lumière*.



nombre différent d'hypothèses : celle qui invoque le moins d'hypothèses est, à coup sûr, la meilleure.

Enfin, et c'est le point essentiel lorsque deux théories sont également étendues, qu'elles invoquent sensiblement le même nombre d'hypothèses, la nature même de ces hypothèses peut encore fournir un motif plausible pour choisir entre elles ; les hypothèses sur lesquelles repose une des théories peuvent être plus simples, plus naturelles, traduire plus immédiatement les données de l'expérience que celles sur lesquelles repose l'autre théorie.

Ainsi, la théorie de la double réfraction imaginée par Lamé repose sur ces deux hypothèses :

Dans chaque direction, le milieu propage deux ondes ;

A chacune de ces ondes correspond une direction de vibration située dans l'onde.

Le sens de ces hypothèses est très clair ; nous voyons immédiatement quelles sont les lois physiques, généralisées il est vrai, mais non dissimulées, qu'elles représentent. La théorie de Cauchy, au contraire, fait sur la nature de l'éther des hypothèses dont le sens physique nous échappe, dont la vérification expérimentale directe nous manque. Nous devons raisonnablement préférer la théorie de Lamé à celle de Cauchy.

Ainsi, en affirmant que la Physique Mathématique n'est pas l'explication du monde matériel, mais une simple représentation des lois découvertes par l'expérience, nous évitons l'obligation de déclarer vraie, pour chaque ordre de phénomènes, une théorie à l'exclusion de toute autre. Mais nous ne sommes pas condamnés pour cela à adopter toutes les théories, logiquement constituées, d'un même ensemble de lois : nous avons, pour choisir entre elles, des règles très sûres, qui, bien souvent, nous permettront de préférer raisonnablement l'une d'entre elles à toutes les autres.

§ 9. *Du rôle que les mathématiques et l'expérience doivent jouer dans la constitution d'une théorie physique.*

Une théorie physique est une représentation systématique d'un ensemble de lois expérimentales ; elle prend pour point de départ des hypothèses choisies de manière à représenter certaines de ces lois ; elle les combine par le raisonnement mathématique pour en tirer des conclusions qu'elle soumet au contrôle de l'expérience.

L'expérience fournit donc la matière des définitions et des hypothèses sur lesquelles repose toute théorie ; tout résultat de la théorie doit être une loi d'expérience ; l'analyse mathématique est l'instrument qui met la matière en œuvre pour en tirer les résultats. Cette règle très simple fixe les rapports que doivent garder entre elles, dans la construction d'une théorie, la méthode mathématique et la méthode expérimentale.

Les règles les plus simples sont souvent celles que l'on viole le plus volontiers ; ainsi en est-il de celle que nous venons d'énoncer ; peu la respectent : les uns exagèrent le rôle de la méthode expérimentale, les autres la part de l'analyse mathématique.

Pour les uns, la physique doit être exclusivement étudiée par la méthode expérimentale ; et, par là, ils n'entendent pas énoncer cette vérité incontestable que toute recherche physique a l'expérience pour point de départ et pour point d'arrivée ; ils entendent bannir l'emploi, dans l'étude de la physique, de l'instrument mathématique ; c'est un instrument inutile et dangereux ; il ne découvre rien ou ne démontre que des erreurs ; à ceux qui le manient, on doit refuser le titre de physicien, le droit d'enseigner la physique ; le fait seul, le fait brutal et isolé, doit être constaté, enseigné, reproduit ; toute idée, par cela même qu'elle est une idée, est fausse et condamnable.

Nous ne nous attarderons pas à discuter cette doc-

trine qui fait d'un instrument enregistreur le physicien idéal.

Aussi bien, parmi ceux qui professent cette doctrine, il en est peu qui y conforment pleinement leurs écrits ou leur enseignement ; ils font usage des mathématiques ; mais ils ne veulent se servir que de certaines branches de l'analyse ; il est d'autres branches qu'ils trouvent trop élevées et que, dès lors, ils regardent comme inutiles ; lorsqu'une définition leur semble trop minutieuse, une démonstration trop difficile, un calcul trop long, ils déclarent que la physique peut s'en passer et les rejettent.

Comment peindre l'état de confusion où ces doctrines illogiques ont plongé l'étude des phénomènes naturels ? Pour éviter les longues et délicates définitions, on emploie à chaque instant des grandeurs que l'on n'a pas suffisamment définies ; pour fuir la complication d'un raisonnement précis, les intégrales qui chargeraient un calcul juste, on se contente d'à peu près ; on masque les difficultés ; on les tourne par des faux-fuyants ; parfois, ce sont de véritables jeux de mots, facilités par l'absence de définitions précises, qui servent à construire une théorie ; l'esprit, égaré par ces tours de passe-passe, perd la notion des méthodes rationnelles, ou bien, s'il la conserve, il abandonne avec dégoût l'étude théorique des phénomènes naturels pour se réfugier dans les travaux de pure observation, comme la chimie et l'histoire naturelle, ou dans les recherches de pure logique, comme les mathématiques abstraites. C'est un phénomène qu'ont pu constater tous ceux qui ont observé l'effet produit par l'enseignement de la physique sur l'intelligence des élèves auxquels il s'adresse.

L'instrument mathématique est nécessaire à l'étude de la physique et le physicien doit être capable d'employer, lorsqu'il le faut, toutes les pièces de cet instrument. Si une théorie fait appel à des considérations analytiques élevées et compliquées, il peut être bon de ne la pas exposer devant un auditoire trop peu instruit ; mais il serait illogique de

lui reprocher la complexité de l'appareil qui sert à la construire, à moins qu'à cet appareil on n'en puisse substituer un autre qui soit aussi solide et d'un maniement plus facile.

Les mathématiques sont donc l'instrument nécessaire à la construction de toute théorie physique ; mais elles ne sont qu'un moyen et non pas un but ; c'est un principe que l'on ne doit jamais perdre de vue, si l'on veut éviter les abus de la Physique Mathématique.

Des définitions et des hypothèses qui servent de point de départ à une théorie doivent sortir les équations fondamentales de cette théorie ; l'analyse mathématique procédera avec grand soin à cette mise en équation, précisant les conditions, les restrictions auxquelles elle est soumise.

Les relations qui font dépendre les unes des autres les lois auxquelles s'applique la théorie, s'expriment par les propriétés générales des équations ainsi établies ; l'analyse mathématique démontrera avec la dernière rigueur les théorèmes qui énoncent ces propriétés et en délimitera exactement la portée.

Les conséquences de la théorie doivent être soumises au contrôle de l'expérience ; la théorie introduit, en général, la considération de quantités, propres à chaque corps, dont la valeur doit être déterminée par des mesures ; l'analyse mathématique discutera jusque dans les derniers détails les problèmes particuliers qui justifient les expériences de contrôle, ou qui servent à instituer les méthodes de mesure.

Mais, si l'analyse mathématique s'attache à démontrer des théorèmes généraux, bien que ces théorèmes ne servent point à établir de lien entre des lois expérimentales ; si elle épuise ses efforts à résoudre des problèmes particuliers sans usage pour l'expérimentateur, elle oublie que, dans l'étude de la physique, elle ne doit être qu'un instrument ; en se proposant pour but au théoricien, elle excède son rôle.

Ce n'est pas que les efforts ainsi provoqués soient toujours perdus ; en perfectionnant et compliquant un instrument plus que ne l'exigent les usages auxquels il est destiné, il peut arriver qu'on le rende propre à d'autres usages. Aussi, les théorèmes que l'analyste déduit de certaines équations de la Physique Mathématique, inutiles peut-être pour la théorie qui a fourni ces équations, peuvent jeter un grand jour sur une autre théorie.

La Mécanique céleste, par exemple, conduit à l'étude des fonctions harmoniques ; les géomètres ont découvert à ces fonctions une foule de propriétés qui n'ont aucun emploi en Mécanique céleste ; mais ces propriétés sont d'un usage continuel dans les théories de la Chaleur, de l'Électricité, du Magnétisme.

D'ailleurs, les développements analytiques d'une théorie physique peuvent, à défaut d'application, posséder cette beauté qui donnerait une raison d'être aux mathématiques lors même qu'on les supposerait inutiles. Celui qui, perfectionnant un outil, dépasse les exigences de l'utile au point d'atteindre au beau et d'enfanter une œuvre d'art, n'a certes pas perdu son temps et ses efforts.

Mais si l'on doit admirer ceux qui, des équations d'une théorie physique, déduisent des théorèmes propres à éclairer une autre théorie ; ceux aussi qui en tirent un beau système analytique ; on ne peut que condamner ceux pour qui la physique est un prétexte à faire des calculs sans utilité comme sans beauté : l'habileté de leurs artifices, la complexité de leurs combinaisons, la subtilité de leurs intuitions peuvent étonner un instant ; mais on se détourne ensuite de leurs recherches avec ce sentiment de regret qu'inspire tout effort perdu ; ceux-là sont des mécaniciens qui auraient pu construire une machine utile et qui n'ont inventé qu'un automate curieux.

§ 10. *En quoi la physique théorique est utile.*

Nous avons vu quelle était la nature de la physique théorique ; quelle signification philosophique il convenait d'attribuer à ses résultats ; dans quelle proportion l'expérience et l'analyse mathématique devaient s'associer pour la constituer ; il nous reste à marquer d'une manière précise de quel genre d'utilité est l'étude de cette science.

Le but de la physique théorique est de relier entre elles, de classer les connaissances acquises par la méthode expérimentale. Sans le lien systématique que la spéculation établit entre elles, les lois données par l'expérience forment un amas confus et inextricable. L'esprit humain a besoin d'un fil qui le guide dans ce dédale ; la théorie le lui fournit.

La théorie est donc destinée à coordonner les lois découvertes par l'expérience ; elle n'est pas destinée à faire découvrir de nouvelles lois.

Il est parfois arrivé au théoricien de prédire, comme conséquence de ses déductions, une loi expérimentale qui n'avait pas encore été reconnue par l'observation ; les découvertes de ce genre frappent vivement l'esprit, mais elles sont rares ; la plupart des découvertes expérimentales sont dues, comme de juste, à la méthode expérimentale. Beaucoup de physiciens reprochent à la théorie le petit nombre des faits nouveaux qu'elle a annoncés ; une plus exacte connaissance du domaine propre à chaque ordre de recherches les conduirait à admirer ces prédictions : ce sont les preuves de la fécondité d'une méthode donnant au delà de ce qu'on doit exiger d'elle.

Si la théorie n'a pas pour objet de faire découvrir de nouvelles lois expérimentales, encore moins a-t-elle pour objet de produire des inventions utiles dans la pratique. Les spéculations de la théorie, les recherches expérimentales, les applications pratiques sont trois domaines dis-

tincts qu'il importe de ne pas confondre ; ceux qui explorent un de ces domaines ne sont pas tenus de faire des découvertes dans les autres.

Mais si ces domaines sont distincts, ils ne sont pas indépendants ; la connaissance de chacun d'eux aide à la connaissance des autres ; entre les explorateurs de ces différents domaines doit s'établir un continuel échange de questions et de renseignements.

Les besoins de l'application suggèrent à l'expérimentateur des phénomènes à observer, des lois à établir ; les lois établies par l'expérimentateur fournissent à l'ingénieur des données qui lui permettent de modifier, de perfectionner ses inventions ; de là une continuelle influence de la science appliquée sur la science expérimentale et de la science expérimentale sur la science appliquée.

Ces lois, auxquelles est parvenu l'expérimentateur, sont la matière sur laquelle travaille le théoricien ; il les classe, les résume en un petit nombre de propositions qui permettent à l'esprit de les voir d'ensemble, d'en saisir les relations ; et lorsque les efforts du théoricien ont ainsi condensé un grand nombre de lois en un petit nombre de symboles simples, clairs, faciles à manier, l'expérimentateur aperçoit nettement, dans chaque partie de la physique, ce qui est fait et ce qui reste à faire ; l'ingénieur, embrassant d'un coup d'œil les lois innombrables découvertes par l'observation, peut vite et sûrement saisir celles qui lui seront utiles. Certes, ceux qui ont fait faire, dans ces dernières années, de si grands progrès à l'industrie électrique ne sont pas ceux qui ont créé la théorie de l'électricité. Mais si les Paccinoti, les Gramme, les Siemens, les Edison, ont pu manier le courant électrique et l'asservir à l'industrie humaine, c'est parce qu'Ampère, Faraday, Ohm, Kirchhoff, Neumann, Weber, l'avaient asservi à l'intelligence humaine et avaient appris aux physiciens à manier les lois auxquelles ce courant obéit.

Reconnaissons donc « qu'il n'est pas inutile de tâcher

de réunir les faits sous un même point de vue, en les rattachant à un petit nombre de principes généraux. C'est le moyen de saisir plus aisément les lois, et je pense que les efforts de ce genre peuvent contribuer, autant que les observations mêmes, à l'avancement de la science » (1).

(1) Fresnel. *Œuvres*, t. I, p. 484.



# UNE NOUVELLE THÉORIE

DU MONDE INORGANIQUE (1)

---

C'est bien une nouvelle théorie du monde inorganique que le R. P. Ad. Leray nous présente dans ces deux petits volumes auxquels les presses de MM. Gauthier-Villars ont prêté leurs caractères lumineux ; théorie qui s'est inspirée, sans les copier, de toutes celles que les grands philosophes ont formulées depuis trois siècles ; le système de Descartes, celui de Leibnitz, celui du P. Boscowich, ont chacun fourni quelque chose au P. Leray ; mais il les corrige l'un par l'autre, les synthétise, les complète, et parvient ainsi à construire un système qui n'est aucun des autres, qui est à lui, bien à lui.

Comme tous les penseurs qui ont vraiment creusé leurs idées, le P. Leray est très clair. C'est aujourd'hui une mode de n'estimer profond que ce qui est obscur, de retourner le fameux mot de Boileau, et d'assurer qu'une pensée bien conçue ne peut être clairement énoncée. Cette mode nous a été apportée par une philosophie née au sein

(1) Le P. Ad. Leray. *Essai sur la synthèse des forces physiques*. Paris, 1885.  
— *Complément à l'Essai sur la synthèse des forces physiques*. Paris, 1892.

des brumes de la mer Baltique ; elle était inconnue lorsque les penseurs respiraient le souffle de la Méditerranée ; Dieu merci ! il existe encore des gens pour la repousser, et le P. Leray est de ceux-là. Ses définitions se présentent nettes et concises ; ses déductions se suivent avec ordre et méthode ; il ne vise pas aux effets littéraires ; il dit ce qu'il faut pour être compris et rien que cela ; en un mot, il pense que la raison s'accommode mieux du style du géomètre que du style du romancier.

Le P. Leray a un autre mérite, bien rare aujourd'hui : il n'est pas seulement philosophe, il est théologien et il est savant. Théologien, il sait, sans confondre le domaine des vérités naturelles et le domaine des vérités révélées, sans jamais invoquer ces dernières dans un ouvrage consacré aux premières, il sait, dis-je, s'aider des lumières de la foi pour s'éclairer dans le dédale de la métaphysique rationnelle ; j'en veux seulement pour témoins les restrictions soigneusement apportées par lui à certaines propositions que maint philosophe énoncerait dans toute leur généralité, et qui contrediraient alors aux dogmes de l'Église sur l'Incarnation ou sur la Transsubstantiation. Encore une fois, je le répète, cette influence théologique est réduite, dans l'œuvre du P. Leray, à ce qu'exige le respect simultané des droits de la révélation et des droits de la raison. Jamais une vérité révélée n'est prise pour fondement d'une déduction qui doit aboutir à une vérité d'ordre scientifique. La foi est seulement pour lui une sorte de barrière qui lui marque le point précis où il quitterait le terrain solide de la vérité naturelle pour tomber dans une erreur qui serait en même temps une hérésie.

Mais le P. Leray n'est pas seulement théologien, il est encore savant, et c'est là ce qui fait la valeur de son œuvre. Combien en avons-nous vu éclore, en ces dernières années, de ces livres où l'auteur, dépourvu des connaissances scientifiques les plus élémentaires, instruit seulement par la lecture de quelques demi-savants, de quelques

revues vulgarisatrices, nous propose une explication complète d'un univers qu'il n'a jamais regardé ! Tel n'est pas le P. Leray ; non seulement c'est un observateur plein de finesse, mais encore c'est un homme de science vraiment digne de ce nom ; il n'a pas craint de plier son intelligence à la rude discipline de la physique mathématique ; et il a compris — mérite bien rare — qu'avant d'expliquer les lois de l'univers, il fallait les connaître.

J'ai dit que c'était là ce qui faisait la valeur particulière de son œuvre. En effet, tandis que le système du philosophe qui n'est pas un savant demeure en général, lorsqu'il s'agit d'expliquer l'univers, dans des généralités très vagues, très éloignées des lois qu'étudient l'astronome et le physicien ; que ceux-ci passent indifférents, sans lever la tête vers ce nuage qui prétend éclairer leurs recherches ; le P. Leray, lui, pousse son système jusqu'aux conséquences scientifiques ; il entend en faire sortir les lois fondamentales qui dominent la mécanique céleste, la physique, la chimie ; et cela non pas par à peu près, non pas au moyen de ces raisonnements très lâches qui laissent entrer tout ce dont on a besoin et sortir tout ce qui gêne, mais par une logique si serrée que l'on soit assuré de ne rien retrouver dans les conclusions qui ne soit dans les prémisses, par la logique de l'analyse mathématique.

Très bonne et très sûre méthode que celle-là ; car, tandis qu'à la base sont des principes nettement et loyalement offerts à l'examen des métaphysiciens, au sommet sont des conséquences sur lesquelles peut s'exercer la critique des physiciens. Aussi est-ce le caractère de toutes les explications du monde matériel qui ont eu un retentissement sur le développement des sciences physiques, du système de Descartes comme du système de Boscowich.

Cette méthode, malheureusement, a un inconvénient, inconvénient qui condamne non pas la méthode, mais le siècle où nous vivons : je crains bien que les philosophes ne lisent pas le P. Leray, parce qu'il fait des mathéma-

tiques, et que les savants ne le lisent pas davantage, parce qu'il fait de la métaphysique. Il serait malaisé de faire, à l'usage de ceux-ci, un extrait des livres du P. Leray où l'on supprimerait la métaphysique; mais peut-être est-il possible d'écrire, à l'usage de ceux-là, un extrait dégagé de formules algébriques; c'est ce que j'ai essayé de faire; j'ai exposé sans discuter; la métaphysique n'est pas mon domaine, je m'aventure aujourd'hui à y faire une excursion sous la conduite du P. Leray; je veux suivre docilement la route qu'il m'indique et non point critiquer ses renseignements: ce serait, pour un voyageur qui ne connaît pas le pays, dangereux peut-être, indiscret à coup sûr.

## PREMIÈRE PARTIE

### LA THÉORIE DU P. LERAY

#### I

#### L'ESPACE.

L'espace est une *substance*, qui existe en soi, indépendamment de tout corps. Cette substance est absolument incapable d'être cause d'aucun effet, elle est purement passive; par là, elle est la dernière dans l'échelle des substances (1).

« Nous proposerions volontiers de classer ainsi les substances :

» En première ligne, la substance purement active, Dieu seul, acte pur.

» En dernier lieu, la substance purement passive, l'espace réel.

» Entre ces deux extrêmes, toutes les autres substances, à la fois actives et passives à des degrés divers.

» Mais une substance purement passive, n'est-ce pas le

(1) P. Leray. *Essai sur la synthèse des forces physiques*, p. 8.

néant ? Non, certes. Le néant n'est ni actif ni passif. Pour pâtir comme pour agir, il faut être, et la capacité de contenir les corps ne saurait convenir au néant. »

L'espace réel est essentiellement fini et, par là, il se distingue de l'espace idéal qu'étudient les géomètres et aussi de ce que le P. Leray nomme l'*espace imaginaire*(1). « L'espace imaginaire, comme l'indique son nom, est la représentation de l'espace réel indéfiniment agrandi par l'imagination. On cherche à se transporter en esprit aux limites du monde et on les voit reculer sans cesse. Ce fait prouve uniquement que nous concevons la possibilité d'un espace de plus en plus grand. Notre imagination fait alors, pour les dimensions de l'univers, ce qu'elle fait pour la taille d'un homme lorsqu'elle se représente un géant dont la tête s'élève au-dessus des arbres, au-dessus des nuages, au-dessus de la lune, du soleil et des étoiles. L'espace imaginaire n'a pas plus de réalité que ce géant fantastique. »

L'espace réel est divisible à l'infini.

« Personne (2) ne conteste que l'espace idéal, la triple dimension abstraite, objet de la géométrie, soit infiniment divisible. Or le passage du possible au réel ne change pas l'essence des choses. Donc l'espace réalisé doit jouir des propriétés nécessairement comprises dans l'idée d'espace. »

## II

### LES ATOMES.

La matière est formée d'un nombre très grand, mais limité, d'*atomes*. Un atome est constitué par une substance simple et active, nommée *monade*, qui est localisée en une portion finie de l'espace. La monade, n'étant pas composée de parties, ne peut occuper une portion finie de l'espace qu'en étant tout entière présente en chacun des

(1) P. Leray. *Essai sur la synthèse des forces physiques*, p. 7.

(2) *Ibid.*, p. 9.

points de cet espace. L'espace qu'elle occupe, pendant qu'elle l'occupe, est impénétrable à toute autre monade matérielle. Mais une monade n'occupe pas toujours, à tout instant, le même espace; à des instants différents, elle peut occuper des portions différentes de l'espace, en sorte qu'elle est mobile.

« Pour nous (1), l'atome est composé d'un espace réel et d'une monade, comme l'homme est composé d'un corps et d'une âme; et la monade est présente à tout le volume de cet espace, comme l'âme, suivant beaucoup de philosophes, est présente à tout le corps. Cette présence, dans les deux cas, est une présence d'action. Comme l'âme communique la vie au corps, la monade communique l'impénétrabilité à l'espace qu'elle occupe. Toutefois, tandis que l'âme est toujours unie au même corps, la monade, dès qu'elle se meut, cesse d'être unie au même espace et rend impénétrables successivement différents lieux. Sous ce rapport même, la différence de constitution n'est pas aussi grande qu'elle paraît au premier abord, car le corps humain se ne compose pas, à toutes les époques de la vie, d'éléments identiques. »

Ce système est bien distinct du Cartésianisme; l'étendue n'est pas l'essence de la matière; toute matière est étendue, mais toute étendue n'est pas occupée par une monade matérielle; en sorte que le vide absolu, impossible dans le système de Descartes, est possible dans le système du P. Leray; et non seulement il est possible, mais il existe, les monades ne venant qu'accidentellement au contact.

Il se distingue aussi des deux formes de l'atomisme. Pour certains atomistes, l'atome est un être simple sans étendue, un *point matériel*; pour d'autres, l'atome est étendu, mais c'est un composé dont les parties sont seulement unies par un lien qu'aucune action créée ne peut

(1) P. Leray. *Essai sur la synthèse des forces physiques*, p. 14.

briser. Comme les premiers, le P. Leray veut que l'atome soit un être simple, mais comme les seconds il le veut étendu.

Le système du P. Leray a des analogies avec le système scolastique, mais sans se confondre avec lui. « Nous pourrions signaler entre notre système (1) et celui des scolastiques plusieurs rapprochements. Notre monade est le principe actif de l'atome, ce que les scolastiques appelaient une forme substantielle ; notre espace réel pourrait répondre à leur matière première, et notre atome se trouverait constitué, suivant leur langage, par l'union de la matière et de la forme. Mais, contrairement à leur opinion, nous soutiendrions que la matière peut exister sans la forme et que la forme n'est pas tirée de la matière. »

Enfin le système du P. Leray se sépare des systèmes de quelques métaphysiciens contemporains qui identifient les monades matérielles et les âmes : « Nous avons insisté (2) sur la comparaison de l'homme et de l'atome, parce qu'elle nous a semblé propre à éclaircir l'idée que nous nous faisons de l'élément matériel. Maintenant nous éprouvons le besoin de déclarer que nous n'établissons néanmoins aucune parité de nature entre la monade et l'âme humaine. Sans doute l'une et l'autre sont simples, mais Dieu aussi est simple et personne ne s'avise, pour ce motif, de mettre sur le même pied la nature divine et la nature humaine. »

Par bien des côtés, la doctrine du P. Leray se rapproche de celle de Leibnitz ; le P. Leray n'a garde de méconnaître les analogies de sa monade avec la monade leibnitzienne. Toutefois, celle-ci diffère de celle-là par un caractère essentiel : pour Leibnitz, les monades sont sans action réelle les unes sur les autres ; une modification d'une monade n'est jamais cause efficiente d'une modification d'une autre monade ; il n'y a qu'une cause efficiente qui

(1) P. Leray. *Essai sur la synthèse des forces physiques*, p. 15.

(2) *Ibid.*, p. 15.

est Dieu ; et lorsque nous croyons saisir un rapport de cause à effet entre une modification au sein d'une monade et une modification au sein d'une autre monade, en réalité nous contemplons seulement une manifestation de l'harmonie que le Créateur a préétablie entre les évolutions des états internes des diverses monades.

Au contraire, pour le P. Leray, une monade peut être très réellement cause des modifications qui évoluent en une autre monade ; cause seconde, il est vrai, tenant son activité de la Cause première et créatrice, mais, cependant, cause véritablement efficiente. C'est ainsi qu'une monade matérielle peut être cause d'un changement dans le mouvement d'une autre monade matérielle, ce que nous exprimons en disant que la première exerce sur la seconde une action mécanique.

Le P. Boscowich a formulé un système de physique qui, lui aussi, empruntait à Leibnitz la conception de la monade, mais qui restituait aux monades la possibilité d'agir réellement les unes sur les autres. Ainsi deux monades matérielles pouvaient exercer l'une sur l'autre des actions tendant à les rapprocher ou à les éloigner, actions plus ou moins grandes suivant la nature des monades et leur distance, et ces actions n'étaient autres que les actions élémentaires auxquelles, depuis Newton, les physiciens demandaient l'explication de tous les phénomènes naturels.

Au contraire, pour le P. Leray, deux atomes matériels ne peuvent exercer aucune action mécanique l'un sur l'autre s'ils sont séparés par une distance, si petite soit-elle. Pour que deux atomes matériels agissent l'un sur l'autre, il faut que les volumes qu'ils occupent soient au contact ; c'est seulement alors, c'est seulement au moment où l'impénétrabilité que chacune des monades communique au volume qu'elle occupe va se trouver en contradiction avec l'impénétrabilité communiquée à son lieu par une autre monade, que l'activité des deux monades entre en



jeu et que chacune d'elles cause un changement dans le mouvement de l'autre. Deux atomes ne peuvent donc exercer l'un sur l'autre d'action mécanique qu'au moment où ils se choquent.

C'est là le point essentiel de la théorie du monde que nous présente le P. Leray. Cette théorie, en effet, est née du désir d'expliquer l'attraction universelle sans invoquer aucune action réelle s'exerçant à distance entre les atomes matériels. Un premier essai avait été tenté dans cette voie par Georges Lesage, de Genève; le P. Leray avait déjà modifié et amélioré la théorie des *corpuscules ultramondains* de Lesage dans un petit livre publié en 1869 et intitulé : *Constitution de la matière et ses mouvements, nature et cause de la pesanteur*; mais ce n'était là qu'une première ébauche, bien modifiée depuis, de l'ouvrage que nous avons aujourd'hui sous les yeux. Nous reviendrons à ce point lorsque nous aurons exposé dans son ensemble le système du P. Leray.

### III

#### PROPRIÉTÉS DES ATOMES.

Lorsqu'un atome matériel n'est pas au contact d'un autre atome matériel, sa monade rend impénétrable un volume sphérique, invariable de grandeur, dont le centre se déplace en ligne droite avec une vitesse constante. Il n'en est plus de même lorsque, dans son mouvement, l'atome vient heurter un autre atome. Pendant toute la durée du contact, la surface de chacun de ces atomes est déformée; mais le P. Leray admet — et c'est là une des hypothèses fondamentales de son système — que chaque atome conserve un volume invariable; c'est cette invariabilité du volume occupé par chaque atome qui constitue pour lui l'invariabilité de la masse de cet atome; la masse d'un atome est alors, par définition, une quantité proportionnelle au volume de l'atome.

Une seconde hypothèse qui joue un rôle fondamental dans le système du P. Leray est celle-ci : le choc des atomes modifie leur mouvement suivant des lois entièrement semblables à celles que l'on étudie dans tous les traités de mécanique sous le nom de lois du choc des billes parfaitement élastiques ; de ces lois, il résulte que les projections sur trois axes rectangulaires de la quantité de mouvement et la force vive de l'ensemble des atomes qui constituent le monde inorganique sont quatre quantités dont chacune garde indéfiniment la même valeur.

Les lois mathématiques du choc des billes élastiques se trouvent ainsi à la base même de toute explication du monde physique ; aussi ne sera-t-on pas étonné de voir le P. Leray leur consacrer des pages nombreuses ; il y a, dans ces pages, des problèmes nouveaux traités avec beaucoup de simplicité et d'élégance.

#### IV

##### L'ÉON.

Le monde inorganique résulte de l'existence simultanée de trois sortes de matières : l'*éon*, l'*éther* et la *matière* proprement dite.

« L'*éon* ou *fluide primordial* (1) se compose des atomes les plus élémentaires, dont le volume représente le minimum de grandeur matérielle réalisée dans la création. Nous l'appelons *fluide*, parce que ses éléments sont aptes à céder avec la plus grande facilité à l'action de toute force ; mais il diffère de tous les autres fluides en ce que ces mêmes éléments n'ont aucun lien d'union entre eux. Leur parenté résulte de l'égalité de forme et de volume, mais leurs mouvements sont complètement indépendants les uns des autres. Nous l'appelons *fluide primordial*, parce que nous le considérons comme l'origine de tous les phéno-

(1) P. Leray. *Essai sur la synthèse des forces physiques*, pp. 61-62.

mènes physiques, comme le moteur universel ou du moins l'agent de transmission de tous les mouvements.

» Envisageons-le d'abord à l'état statique et, dans ce but, transportons-nous à l'origine des temps pour voir se dérouler sous nos yeux le spectacle sublime de la création. Après avoir produit et délimité la sphère immense du monde, Dieu la peuple d'atomes éoniens, uniformément répandus dans sa vaste étendue. Leur nombre est si prodigieux que chaque millionième de millimètre cube en contient des billions, et leur petitesse si excessive que cette multitude innombrable n'occupe qu'une très minime portion de l'espace.

» Il en résulte que la densité de l'éon est extrêmement faible. »

« ... Nous avons envisagé l'éon à l'état de repos, et ses atomes, en raison de leur inertie, sont incapables de sortir par eux-mêmes de l'immobilité. A l'origine du mouvement comme à l'origine de l'être, il faut une intervention spéciale de Dieu. Voyons-le donc, par un acte de sa volonté toute puissante, lancer dans la carrière les atomes éoniens, d'un mouvement égal et dans toutes les directions. Cette impulsion divine, seule force instantanée, parce que seule elle est infinie, leur communique au premier moment une vitesse énorme que nous pouvons évaluer, si les faits l'exigent, à plusieurs millions de fois la vitesse de la lumière. Une rapidité si merveilleuse compense l'exiguïté du volume et relève la grandeur du produit de la masse par la vitesse ou de la quantité de mouvement. Cette quantité représente la force cinétique déposée par Dieu à l'origine dans chaque atome de l'éon, et en vertu de laquelle il peut, à son tour, être cause de mouvement. »

... « Cependant une difficulté se présente si l'on se transporte aux limites de l'espace réel. Que devient la vitesse d'un atome qui atteint ces limites? Dans notre système, il ne peut passer outre ; car il est constitué par une monade localisée, et il n'y a pas de localisation

possible en dehors de l'espace réel. Donc, en atteignant les bornes de l'univers créé, l'atome doit se réfléchir, comme il ferait à la rencontre d'un obstacle infranchissable et, durant la période de déformation, se développent en son sein une force et une énergie élastiques qui compensent la perte de force et d'énergie cinétiques. »

Nous avons cité les propres paroles du P. Leray, parce que l'introduction dans les théories physiques de ce fluide primordial ou éon est une des parties neuves et fécondes de son système ; le P. Leray a parfaitement vu — ce qui ne semble pas avoir été clairement aperçu avant lui — que, pour ceux qui nient l'action mutuelle de deux atomes distants, l'éther ne peut être l'explication de toute transmission de force à distance ; les propriétés que l'on attribue à l'éther, notamment l'élasticité que l'on exige de lui dans la théorie de la lumière, ne peuvent s'expliquer sans action à distance, à moins que l'on n'admette l'existence d'un fluide beaucoup plus subtil que l'éther : ce fluide nécessaire, c'est l'éon.

## V

### L'ÉTHER.

« L'éther (1) est, comme l'éon, un fluide composé d'atomes sphériques parfaitement élastiques et uniformément répandus dans l'espace, au moment de leur création.

» La différence spécifique entre ces deux fluides consiste en ce que le volume des atomes éoniens est beaucoup plus petit que celui des atomes d'éther. Nous admettons que ces derniers occupent un volume capable de contenir des milliers, peut-être des millions d'atomes d'éon, conservant entre eux leurs distances respectives. »

Imaginons un atome d'éther placé dans l'espace que les atomes éoniens sillonnent en tout sens de leur course

(1) P. Leray. *Essai sur la synthèse des forces physiques*, p. 83.

rapide. Ces atomes viendront frapper l'atome d'éther et tendront à le mettre en mouvement conformément aux lois du choc des billes élastiques ; mais, grâce à l'ampleur de son volume, un atome d'éther ne pourra être choqué dans un certain sens par un atome d'éon sans que, très peu de temps avant ou après, un autre atome d'éon vienne le choquer précisément en sens contraire avec la même force ; assailli ainsi de tous côtés par des courants éoniens d'égale force, l'atome d'éther demeurera immobile dans l'espace, ou, pour être plus exact, n'éprouvera que d'im-perceptibles frémissements.

En est-il encore de même lorsque deux atomes d'éther se trouveront en présence l'un de l'autre ? Au premier abord, il semble que non ; chacun des deux atomes d'éther intercepte certains des courants éoniens qui devaient parvenir à l'autre ; ce dernier recevra donc, semble-t-il, moins de chocs sur la face que protège cet écran que sur l'autre face ; les courants éoniens pousseront ainsi l'un vers l'autre les deux atomes d'éther qui sembleront s'attirer. En réalité, ce raisonnement repose sur une omission ; on y oublie les courants éoniens qui, réfléchis sur le premier atome, viennent frapper le second ; or, « pour tout courant intercepté d'un côté (1), il y aura de l'autre côté un courant réfléchi de même direction qui le remplacera ; donc la présence simultanée de deux atomes ne troublera point leur équilibre... On peut appliquer le même raisonnement à un nombre quelconque d'atomes, et, par suite, nous pouvons concevoir à l'origine le fluide éthéré uniformément répandu dans l'espace et jouissant d'un véritable équilibre, quoique plongé dans un océan où se croisent sans cesse des courants animés de vitesses prodigieuses. »

Mais si deux atomes d'éther immobiles au sein de l'éon n'exercent l'un sur l'autre aucune action apparente, il n'en est plus de même, en général, lorsque l'un ou l'autre

(1) P. Leray. *Essai sur la synthèse des forces physiques*, p. 84.

de ces atomes, ou tous deux, sont en mouvement. Dans ce cas, les impulsions que chacun de ces atomes reçoit de la part des atomes éoniens ne sont plus égales de toutes parts ; les courants éoniens tendent, suivant les cas, soit à précipiter les deux atomes l'un vers l'autre, soit à les écarter l'un de l'autre ; il naît entre eux une force *apparente*, attractive ou répulsive.

Le P. Leray étudie en détail cette force apparente, qui s'annule pour deux atomes d'éther immobiles l'un par rapport à l'autre ; qui, lorsque deux atomes s'écartent l'un de l'autre, tend à les rapprocher l'un de l'autre ; qui, au contraire, lorsque deux atomes se rapprochent l'un de l'autre, tend à les écarter l'un de l'autre ; qui, en un mot, tend toujours à détruire l'effet d'une perturbation apportée à l'arrangement des atomes d'éther.

Ainsi, non seulement les atomes d'éther sont des *atomes élastiques*, qui rebondissent lorsqu'ils choquent d'autres atomes, mais encore l'éther est un *milieu élastique*, qui réagit contre les perturbations apportées à son état. Ce sont là deux sens du mot « élastique » qui sont bien distincts et qu'il importe de ne pas confondre. L'élasticité des atomes d'éther est une propriété intrinsèque, essentielle, de ces atomes ; au contraire, l'élasticité du milieu éthéré n'est pas une propriété intrinsèque de ce milieu ; il la doit à la présence de l'éon. Les atomes éoniens sont également élastiques, mais l'éon, lui, considéré en tant que milieu, est privé d'élasticité.

Cette théorie de l'élasticité de l'éther est, dans l'œuvre du P. Leray, une des parties qui méritent le plus l'attention de ceux qu'intéresse la philosophie naturelle.

Les caractères essentiels de la force élastique ont toujours fort embarrassé ceux qui cherchent à expliquer tous les phénomènes naturels par des actions attractives ou répulsives s'exerçant à distance entre les molécules (1). La

(1) Nous nous permettons de renvoyer le lecteur curieux d'approfondir cette question à notre *Cours d'hydrodynamique, d'élasticité et d'acoustique* (Paris, 1891) et particulièrement au chapitre III du livre IV.

force élastique n'agit pas dans le milieu à l'état naturel ; elle n'agit que lorsqu'on impose une déformation à une partie de ce milieu, et elle agit toujours de manière à réagir contre la déformation, en sorte qu'elle change de sens en même temps que celle-ci. Comment concilier ces caractères avec l'existence d'une attraction moléculaire agissant toujours entre les atomes et ne dépendant que de leur masse et de leur distance ? Fresnel, Cauchy et Poisson ont essayé de fonder une théorie de l'élasticité des corps solides sur l'hypothèse de l'attraction moléculaire ; malgré les magnifiques résultats qu'ils ont obtenus, leur théorie est contredite par l'expérience et doit être regardée comme fausse.

Navier, le fondateur de l'élasticité, et Lamé, qui a tant fait avancer cette partie de la physique, n'admettaient pas l'attraction moléculaire entendue à la manière de Boscowich. Pour eux, deux atomes immobiles l'un rapport à l'autre dans un milieu en équilibre n'exerçaient l'un sur l'autre aucune action ; leur action mutuelle ne prenait naissance que lorsqu'on les déplaçait l'un par rapport à l'autre ; un écart des deux atomes engendrait entre eux une action attractive ; un rapprochement, une action répulsive. Cette hypothèse, on le voit sans peine, a beaucoup d'analogie avec les conséquences que le P. Leray déduit de son système.

Digne d'attention dans ses principes, la théorie de l'élasticité de l'éther proposée par le P. Leray l'est encore par ses conséquences ; en effet, le savant religieux fonde sur cette théorie l'explication d'une propriété très étrange, très paradoxale, que les opticiens ont été conduits à attribuer à l'éther pour expliquer les effets de la lumière polarisée : selon eux, l'éther ne peut transmettre un mouvement vibratoire *longitudinal*, c'est-à-dire un mouvement vibratoire qui ferait osciller les molécules suivant la direction même de la propagation. Le P. Leray montre que cette propriété paradoxale du milieu éthéré découle de la constitution qu'il lui attribue.

## VI

## LA MATIÈRE PROPREMENT DITE.

Les atomes éoniens et les atomes d'éther sont les deux seules espèces d'atomes qui entrent dans la constitution du monde inorganique; ce que nous nommons vulgairement *la matière* ou *les corps* a pour élément ce que le P. Leray appelle du nom usuel d'*atome chimique*. Mais l'atome chimique n'est plus du tout comparable à l'atome éonien ou à l'atome d'éther; ce n'est plus un être simple dont l'activité consiste à rendre, à chaque instant, un certain volume impénétrable aux autres atomes; c'est un véritable organisme. Un nombre plus ou moins grand d'atomes d'éther, composés chacun d'une monade et de l'espace qu'elle rend impénétrable, sont groupés sous la dépendance d'une monade d'une autre nature. L'activité de cette dernière a pour objet non plus de rendre impénétrable une certaine portion d'espace, mais de maintenir une forme déterminée à l'assemblage d'atomes éthérés qu'elle préside, de ramener, par une élasticité d'un nouveau genre, le groupe entier à cette forme lorsque des actions extérieures l'en écartent. Par cette forme nouvelle d'activité, distincte de l'activité propre aux monades éthérées, mais compatible avec elle, la monade supérieure s'adjoint à ces dernières sans faire obstacle en rien à leur existence.

« Nous définissons (1) l'élément des corps simples, ou atome chimique : *Un groupe d'atomes d'éther, présidé par une monade chargée de conserver sa forme et son volume...* »

« Sans doute, d'après son étymologie, l'atome est inséparable et ne peut se diviser en fragments plus petits; mais, bien que l'élément des corps simples puisse à la rigueur se subdiviser, puisqu'il est composé, nous pouvons admettre

(1) P. Leray. *Complément à l'Essai sur la synthèse des forces physiques*, p. 4.



qu'il est naturellement indestructible et qu'aucune force créée n'est capable de soustraire les atomes composants à l'empire de la monade qui les régit. Il est donc, de fait, insécable. D'ailleurs, il n'existe qu'à cette condition ; et la rupture des liens qui subordonnent ses diverses parties à la monade directrice serait, comme la séparation de l'âme et du corps dans un être vivant, la destruction de l'individu. »

Cette monade directrice, qui maintient unis les atomes étherés dont se compose un atome chimique, est donc « une sorte d'âme minérale<sup>(1)</sup>, analogue aux âmes végétative et sensitive des scolastiques, mais d'un ordre bien inférieur, puisqu'elle n'est pas un principe de vie. » C'est bien la *monade-reine* que Leibnitz préposait à la conservation de tout organisme <sup>(2)</sup>.

Tous les atomes éoniens sont identiques entre eux ; il en est de même de tous les atomes d'éther ; au contraire, nous admettons que les atomes chimiques peuvent présenter un grand nombre de variétés ; quel est exactement ce nombre ? Il est égal au nombre des corps vraiment simples que la nature renferme ; mais combien y a-t-il de corps vraiment simples ? Les chimistes comptent aujourd'hui environ soixante-dix corps simples, et tous les jours la liste s'allonge, quelque nouveau métal est découvert sur notre planète ou deviné dans les astres. Beaucoup, il est vrai, pensent que tous ces corps-là ne sont pas indécomposables ; il en est même qui aiment à imaginer, avec Dumas, qu'ils sont tous composés, qu'il existe un unique corps simple, peut-être l'hydrogène. Dans ce cas, de même qu'il existe une seule espèce d'atomes

(1) P. Leray. *Complément à l'Essai sur la synthèse des forces physiques*, p. 1.

(2) « Nous avons admis, dit le P. Leray (*Complément à l'Essai sur la synthèse des forces physiques*, p. 4), seulement deux espèces d'atomes simples, et à la rigueur une seule pourrait suffire, celle des atomes éoniens. L'atome d'éther deviendrait alors un groupe d'atomes d'éon présidé par une monade de deuxième ordre, et notre groupe actuel d'atomes d'éther, qui est l'atome des chimistes, serait présidé par une monade de troisième ordre. »

éoniens et une seule espèce d'atomes d'éther, il existerait une seule espèce d'atomes chimiques ; la constitution première de la matière serait remarquablement simple.

Dans l'atome chimique, les atomes d'éther constituants sont assez voisins les uns des autres pour qu'aucun autre atome d'éther ne puisse pénétrer entre eux ; mais les atomes éoniens, beaucoup plus petits que les atomes d'éther, peuvent se glisser dans les intervalles.

Les chocs que les atomes éoniens ou les atomes d'éther libre font éprouver aux parties constituantes de l'atome chimique tendent à mettre chacune de ces parties constituantes en mouvement. Mais la monade-reine réagit alors, et une partie de l'impulsion reçue par l'un des atomes constituants de l'atome chimique se trouve transformée en un mouvement vibratoire qui anime l'ensemble de l'édifice. Nous allons voir quel rôle le P. Leray attribue à ces transformations de mouvement dans l'explication de la chaleur et de l'attraction.

## VII

### CHALEUR.

« L'éon est un fluide très subtil (1), de densité homogène, dont les éléments se meuvent dans toutes les directions avec une vitesse extrême. Un atome chimique, au sein de ce fluide, sera donc assailli de tous côtés par des courants, qui pénétreront dans son intérieur, grâce aux pores superficiels, et le traverseront dans tous les sens. Les atomes d'éther qui le forment recevront donc une multitude de chocs et nous avons à rechercher quel en sera l'effet.

» L'atome chimique est apte à transformer les mouvements particuliers des éléments qui le composent, mais ces éléments eux-mêmes, comment peuvent-ils se mouvoir,

(1) P. Leray. *Complément à l'Essai sur la synthèse des forces physiques*. p. 20.

puisque nous avons vu qu'un atome d'éther, au sein de l'éon, demeure en équilibre ? Oui, sans doute, mais alors nous supposons l'atome d'éther ou isolé et frappé également dans toutes les directions par les courants éoniens, ou entouré par d'autres atomes au repos qui lui renvoyaient en moyenne autant de courants réfléchis qu'ils en arrêtaient de directs. Cette équivalence des courants arrêtés et réfléchis était très sensiblement exacte, à cause de l'homogénéité supposée du fluide éthéré et de la distance relativement considérable de ses éléments. Or, il n'en est plus de même si, au lieu des atomes de l'éther libre, nous considérons les atomes associés pour former un groupe chimique. L'éon, il est vrai, s'insinue très bien à l'intérieur de ce groupe ; néanmoins, la circulation n'y est pas assez libre pour que chacun de ses éléments soit frappé par des courants égaux en tous sens. Les chocs éprouvés par les divers atomes associés ne se feront donc pas équilibre, et ils recevront des impulsions variées. La monade directrice réagira, comme nous l'avons expliqué ci-dessus, pour coordonner et transformer tous ces mouvements intestins. »

Ce mécanisme va nous expliquer :

- 1° La chaleur ;
- 2° L'attraction que les atomes chimiques exercent sur les atomes d'éther ;
- 3° L'attraction des atomes chimiques les uns pour les autres, c'est-à-dire la gravitation.

Voyons d'abord quelle est, selon le P. Leray, la nature de la chaleur.

« Nous employons le mot *chaleur* (1) à défaut d'un autre mot pouvant embrasser, dans sa signification, tout l'ensemble des radiations calorifiques, lumineuses et chimiques que l'on a distinguées dans le spectre solaire. On sait que ces radiations ne diffèrent que par les longueurs

(1) P. Leray. *Complément à l'Essai sur la synthèse des forces physiques*, p. 26.

d'onde, et, si nos sens ou nos instruments sont plus sensibles aux unes qu'aux autres, cela ne constitue pas une différence de nature. Comme tous les corps émettent des radiations calorifiques, nous avons pensé que le mot *chaleur* était le plus convenable pour désigner l'ensemble des radiations... De la sorte, le mot *chaleur* embrassera toute l'énergie vibratoire propagée par l'éther.

» Ainsi donc, pour nous, la chaleur, considérée objectivement, consiste dans le mouvement vibratoire des atomes d'éther, que ces atomes soient indépendants ou qu'ils soient associés pour former des groupes chimiques.

» Ainsi, ni les mouvements de translation, ni les mouvements de rotation ne constituent de la chaleur. Leur force vive est bien apte à se transformer en énergie calorifique ; mais, tant que la transformation n'est pas opérée, il n'y a pas de chaleur existante. Pareillement, les vibrations des éléments matériels qui résultent d'oscillations de leur centre de gravité et s'accomplissent de toute pièce, telles que les vibrations sonores, ne sont pas de la chaleur. Leur énergie propre est très distincte de l'énergie calorifique, qui consiste essentiellement, non dans les mouvements d'ensemble des atomes chimiques, mais dans les mouvements vibratoires particuliers des atomes d'éther qui les composent.

» Déterminer l'origine de la chaleur, c'est donc préciser les circonstances où ces sortes de mouvements prennent naissance. Or nous avons vu plus haut que les courants éoniens, en traversant un atome composé, communiquent à ses éléments de l'énergie vibratoire. Nous avons donc ainsi constaté que de la chaleur est engendrée au sein du groupe chimique ; et nous avons vu la part qui revient à chacun des agents producteurs du phénomène.

» L'éon apporte la force vive nécessaire ; les atomes d'éther constitutifs du groupe chimique la recueillent sous forme d'énergie vibratoire, et c'est la monade directrice du groupe qui opère la transformation et la régularise. »

Nous ne suivrons pas ici le P. Leray dans les conséquences variées qu'il déduit de cette manière de concevoir la chaleur. Nous renvoyons au *Mémoire sur la théorie cinétique des gaz* (1) le physicien curieux de savoir comment ces conséquences s'accordent avec les lois bien connues de la thermodynamique. Ils verront comment le P. Leray a été amené par ses idées sur la chaleur à donner, du rapport des chaleurs spécifiques des gaz, une théorie nouvelle et pleinement conforme aux données expérimentales ; comment, en outre, il a cherché à vérifier ses principes par de curieuses expériences radiométriques. Mais toutes ces questions nous entraîneraient hors de l'exposé général que nous cherchons à écrire.

## VIII

### ACTION DES ATOMES CHIMIQUES SUR L'ÉTHER. GRAVITATION.

Les courants éoniens qui traversent un atome chimique y perdent une partie de leur force vive ; cette force vive se transforme en force vive de mouvements vibratoires pour les divers atomes d'éther qui constituent l'élément chimique, c'est-à-dire en chaleur. Ils sortent donc affaiblis, non que les atomes qui les composent soient moins nombreux, mais parce qu'ils marchent avec une vitesse moindre.

Plaçons un atome d'éther auprès d'un atome chimique ; sur la face qui regarde cet atome chimique, l'atome d'éther est frappé seulement par ces courants éoniens atténués, éternés ; sur l'autre face, au contraire, il reçoit le choc de courants qui possèdent toute leur intensité ; l'impulsion que ceux-ci lui communiquent est plus puissante que l'impulsion qu'il éprouve de ceux-là ; il sera poussé vers

(1) Communiqué à la Société française de physique, publié dans les *Annales de chimie et de physique* en 1892, et réuni, sous forme d'appendice, au *Complément à l'Essai sur la synthèse des forces physiques*.

l'atome chimique ; ainsi, un atome chimique semblera attirer les atomes d'éther qui se trouvent dans son voisinage.

Nous disons « qui se trouvent dans son voisinage », car l'atome chimique ne protégera du bombardement des atomes éoniens que les atomes d'éther très peu éloignés de lui ; en sorte que la force attractive dont nous venons de parler cessera de se faire sentir à une toute petite distance de l'atome chimique ; les atomes d'éther situés au delà de cette distance n'éprouveront aucun effet de l'atome chimique ; ceux, au contraire, qui seront à une distance moindre s'approcheront de sa surface ; et, autour d'un atome chimique, l'éther se condensera pour lui former une sorte d'atmosphère.

Le P. Leray est ainsi conduit, par le développement logique de son système, à attribuer aux atomes chimiques une action attractive sur l'éther, action en tout semblable à celle que Cauchy, que Briot ont invoquée pour expliquer la dispersion en un spectre des diverses couleurs de la lumière blanche.

Lorsque deux atomes chimiques se trouvent au voisinage l'un de l'autre, chacun d'eux ralentit les courants éoniens qui le traversent, et, par là, naît entre les atomes chimiques une attraction apparente, analogue à l'attraction qu'un atome chimique exerce sur un atome d'éther, mais s'étendant à une distance plus grande.

Mais si le passage dans les pores d'un atome chimique affaiblit les courants éoniens, le passage de ces mêmes courants au travers des innombrables pertuis que laissent entre eux les atomes chimiques qui forment un corps les affaiblira également ; ils laisseront dans le corps une partie de leur force vive sous forme de mouvements vibratoires, c'est-à-dire de chaleur, et si, à leur sortie, ils rencontrent un second corps, ils seront trop faibles pour le soutenir contre l'assaut des courants qui le heurtent sur l'autre face, en pleine vitesse. Ce second corps sera donc poussé vers le premier ; il semblera attiré par lui.

Cette attraction apparente obéit, le P. Leray le démontre, aux lois de l'attraction universelle ; du moins ces lois sont-elles, pour cette attraction, une première approximation ; l'attraction universelle est donc expliquée, et expliquée sans qu'aucune action à distance ait été invoquée. Nous avons vu que, dans l'ordre chronologique des recherches du P. Leray, ce résultat était le premier ; on peut assurer qu'en importance il n'est pas le dernier.

## IX

### COHÉSION.

Mais les atomes éoniens ne sont pas les seuls atomes qui puissent, dans leurs mouvements, venir choquer des atomes chimiques ; les atomes éthérés, eux aussi, peuvent venir choquer les atomes chimiques dont le tissu est trop serré pour qu'ils puissent pénétrer à l'intérieur. Ces chocs répétés engendrent une pression capable de faire adhérer les uns aux autres divers atomes chimiques et de produire ainsi les effets que l'on attribue d'ordinaire à la *cohésion*. C'est par l'étude de la cohésion et aussi de l'*affinité chimique* que le P. Leray termine son second volume. De la théorie de l'affinité chimique nous ne dirons rien, non seulement pour ne pas grossir outre mesure ce compte rendu, mais aussi parce que les liens qui unissent cette théorie au reste du système du P. Leray nous semblent quelque peu lâches. Nous espérons d'ailleurs que ce que nous avons dit ici du système cosmologique du savant Eudiste inspirera à plus d'un lecteur le désir de prendre, dans les propres ouvrages de cet auteur, connaissance de ce que nous avons omis.

## DEUXIÈME PARTIE

**L'ACTION A DISTANCE EST-ELLE POSSIBLE ?**

Maintenant que nous avons esquissé dans son ensemble le système cosmologique du P. Leray, revenons à ce qui est la pierre angulaire de ce système, l'impossibilité de l'action à distance.

Le mouvement des planètes est le même que si le soleil et les planètes s'attiraient suivant les lois découvertes par Newton. Est-il possible que cette action attractive des masses matérielles éloignées les unes sur les autres soit une propriété inhérente à ces masses, propriété qu'il soit, par conséquent, à la fois inutile et impossible d'expliquer ? Faut-il, au contraire, réputer métaphysiquement impossible, pour un corps, la capacité de mouvoir à distance un autre corps ; regarder l'attraction universelle comme une force apparente, et l'expliquer en invoquant uniquement les actions qu'exercent les unes sur les autres des particules au contact ?

C'est pour cette dernière opinion que tient le P. Leray.

« Il est de toute impossibilité (1) qu'un corps agisse là où il n'est pas et que le soleil, par exemple, meuve directement la terre..... »

«..... En effet (2), l'activité est une faculté de la substance, et l'action n'est autre chose que l'opération de cette faculté. Or, la faculté est inséparable de la substance en qui elle réside, et l'opération est inséparable de la faculté qui opère. Donc, l'action séparée de la substance qui agit, l'action à distance, est de toute impossibilité.

» En d'autres termes, l'action est une manière d'être de la substance agissante. Or les manières d'être sont inhérentes au sujet qu'elles modifient ; donc elles ne peuvent exister hors de lui, à distance. »

(1) P. Leray. *Essai sur la synthèse des forces physiques*, p. vi.

(2) *Ibid.*, p. 3.



Il est curieux de voir combien a varié l'opinion des philosophes sur ce point.

Jusqu'à Descartes, on ne fait nulle difficulté de regarder la propriété qu'a un corps d'agir à distance sur un autre corps, comme une propriété première et inhérente au corps.

Gilbert, dans son *De Arte magnetica*, publié en 1600, n'hésite pas à regarder la propriété d'attirer le fer à distance comme une propriété essentielle de l'aimant. Copernic regarde l'attraction mutuelle des particules matérielles comme une propriété première donnée à ces particules par la Providence : *Gravitatem non aliud esse quam appetentiam quamdam naturalem partibus inditam a divinâ providentiâ opificis universorum, ut in unitatem integritatemque suam sese conferant, in formam globi coeuntes*. Kepler, dans la célèbre introduction au traité de *Stella Martis* où, pour la première fois, les marées sont attribuées à la lutte entre l'attraction lunaire et l'attraction terrestre sur les eaux de la mer, Képler, dis-je, ne fait nulle difficulté d'attribuer à la lune une *virtus tractatoria*.

Galilée, toutefois, dans ses *Dialogues sur le système du monde*, déplore de voir Képler faire ainsi appel, pour expliquer le flux et le reflux de la mer, à une qualité occulte.

Ce qui semblait tout naturel aux prédécesseurs de Descartes va sembler absurde à Descartes et à ses successeurs.

Pour Descartes, on le sait, l'essence de la matière est l'étendue ; toutes les propriétés d'une partie quelconque de la matière doivent découler de son essence, et cette essence consiste simplement à être une certaine portion de l'étendue ; or de l'étendue ne peut agir, de l'étendue ne peut avoir de tendance ; une partie de la matière ne peut donc agir sur une autre pour modifier son mouvement ; elle ne peut tendre à s'approcher ou à s'éloigner de cette autre partie ; toute action, toute tendance de ce genre doit être

regardée comme une manière de parler, comme une fiction, et les effets qu'on lui attribue ne sont pas expliqués par là ; ils nécessitent une explication.

D'où cette explication doit-elle être tirée ? De l'essence même de la matière. Chaque partie de matière est, par essence, identique à l'étendue qu'elle occupe ; l'étendue qu'occupe une partie de la matière est donc essentiellement impénétrable à tout autre corps, car elle ne peut être à la fois l'essence de deux corps différents. Considérons deux corps qui marchent l'un vers l'autre ; si leurs mouvements demeuraient inaltérés, il arriverait un moment où leur impénétrabilité serait violée, où une même région de l'espace appartiendrait à la fois à l'un et à l'autre ; il faut donc qu'au moment où commencerait à se produire cette violation de l'impénétrabilité, c'est-à-dire au moment précis où les deux corps sont en contact, leur mouvement soit modifié ; c'est ce qui constitue le *choc*.

Quelles sont les lois qui président à cette modification des mouvements des deux corps ? Quelles sont les lois du choc ? Descartes a essayé de les énoncer ; ses énoncés étaient inacceptables, comme Leibnitz l'a montré depuis ; il admettait la conservation de la quantité de mouvement, au lieu de supposer la conservation des trois composantes de cette quantité ; il n'avait pas l'idée d'admettre la constance de la force vive ; néanmoins, on ne saurait le méconnaître, l'introduction de la quantité de mouvement dans la théorie du choc était un premier pas vers la forme que cette théorie a revêtue depuis.

C'est donc au choc des diverses parties de la matière les unes contre les autres que l'on doit demander l'explication des divers phénomènes qu'étudie la physique ; et Descartes ne se contente pas de cette affirmation générale ; il descend dans le détail ; il entreprend de prouver comment les seules lois du choc suffisent à expliquer la pesanteur, les divers effets de la lumière, les marées, le magnétisme, etc. ; tout le monde connaît, au moins dans ses

grands traits, la célèbre théorie des tourbillons, par laquelle il pense expliquer tout le système du monde.

Cette tentative pour exposer jusqu'en ses derniers détails un univers dont l'étude naissait à peine est d'une présomption qui fait aujourd'hui sourire celui qui lit le *Traité du Monde ou de la Lumière* et le livre de *Principiis philosophiae* ; Pascal, déjà, s'écriait : « Il faut dire en gros : cela se fait par figure et mouvement, car cela est vrai. Mais de dire quels, et composer la machine cela est ridicule ; car cela est inutile, et incertain, et pénible. » Mais, si l'on peut trouver vains les efforts faits par Descartes pour « composer la machine » du monde, on ne saurait sans injustice méconnaître le très grand service que sa philosophie a rendu à la physique ; en enseignant qu'il était ridicule d'attribuer chaque nouvel effet à une nouvelle vertu des corps, que nommer une propriété n'était pas l'expliquer, il a vraiment ouvert la voie à la physique théorique ; et que l'on veuille ou non croire à la réalité de la *virtus tractatoria* que Képler attribue aussi bien à la terre qu'à la lune, personne, je pense, ne regrette la *virtus dormitiva* dont le docteur de Molière douait l'opium.

Au reste, si Pascal trouve inutile, incertain et pénible, la tentative de composer la machine du monde, il retient soigneusement cette conséquence utile et pratique du système de Descartes qui se refuse à expliquer chaque effet naturel par l'invention d'une propriété, d'une vertu spéciale ; comme Descartes, il pense que toute véritable explication est celle qui n'invoque rien, sinon la figure et le mouvement, et il accable de sa mordante ironie ces philosophes qui « disent hardiment que les corps tendent en bas, qu'ils aspirent à leur centre, qu'ils fuient leur destruction, qu'ils craignent le vide, qu'ils ont des inclinations, des sympathies, des antipathies, qui sont toutes choses qui n'appartiennent qu'aux esprits. » D'ailleurs, il fit mieux que de se moquer de ces philosophes : en donnant l'explication des effets que l'on attribuait à l'horreur du

vide, il traça le premier exemple de la méthode que la physique allait suivre désormais.

Tout en admettant que l'univers matériel est un mécanisme, Pascal pensait que la construction de ce mécanisme, la création d'une philosophie du monde ne valait pas « une heure de peine ». Il s'en faut bien que les savants du xvii<sup>e</sup> siècle aient tous partagé cet avis; et pour ne nommer que le plus illustre parmi ceux qui cherchèrent à ramener les phénomènes naturels à la figure et au mouvement, citons Christian Huygens.

On doit en effet à Huygens un *Discours de la cause de la pesanteur* qui, présenté par lui à l'Académie des sciences de Paris, fut plus tard, en 1690, imprimé à Leyde, à la suite du célèbre *Traité de la Lumière*; les passages suivants de la préface mise par Huygens en tête de ce Discours permettent d'apprécier exactement jusqu'à quel point il était du sentiment de Descartes :

« La Nature agit par des voies si secrettes et si imperceptibles, en amenant vers la terre les corps qu'on appelle pesants, que quelque attention ou industrie qu'on emploie, les sens n'y sçauraient rien découvrir. C'est ce qui a obligé les philosophes des siècles passez à ne chercher la cause de cet admirable effet, que dans les corps mesmes, et de l'attribuer à quelque qualité interne et inhérente, qui les faisait tendre en bas et vers le centre de la Terre, ou à un appétit des parties à s'unir au tout, ce qui n'estait pas exposer les causes, mais supposer des Principes obscurs et non entendus. On peut le pardonner à ceux qui se contentaient de pareilles solutions en bien des rencontres; mais non pas si bien à Démocrite et à ceux de sa Secte, qui aiant entrepris de rendre raison de tout par les Atomes, en ont excepté la seule Pesanteur, qu'ils ont attachée aux corps terrestres et aux Atomes mesmes, sans s'enquérir d'où elle leur pouvait venir. Parmi les auteurs et restaurateurs modernes de la Philosophie, plusieurs ont bien jugé qu'il fallait établir quelque chose

au dehors des corps, pour causer les attractions et les fuites qu'on y observe : mais ils ne sont allez guère plus loin que ces premiers, lorsqu'ils ont eu recours, les uns à un air subtil et pesant, qui en pressant les corps les fist descendre ; (car c'est supposer desja une pesanteur, et il est si fort contre les loix de la Méchanique de vouloir qu'une matière liquide et pesante presse en bas les corps qu'elle environne, qu'au contraire elle devrait les faire monter, estant supposez sans aucun poids en eux mesmes, tout ainsi que l'eau fait monter une phiole vuide qu'on y enfonce) les autres à des esprits et à des émanations immatérielles ; ce qui n'éclaircit de rien, puisque nous n'avons nulle conception, comment ce qui est immatériel donne du mouvement à une substance corporelle.

» M<sup>r</sup> Des Cartes a mieux reconnu que ceux qui l'ont précédé, qu'on ne comprendrait jamais rien d'avantage dans la Physique, que ce qu'on pourrait rapporter à des Principes qui n'excèdent pas la portée de notre esprit, tel que sont ceux qui dépendent des corps, considérez sans qualitez, et de leurs mouvements. Mais comme la plus grande difficulté consiste à faire voir comment tant de choses diverses sont effectuées par ces seuls Principes, c'est à cela qu'il n'a pas réussi dans plusieurs sujets particuliers qu'il s'est proposé à examiner, desquels est entre autres, à mon avis, celui de la Pesanteur. On en jugera par les remarques que je fais en quelques endroits sur ce qu'il en a écrit ; aux quelles j'en aurais pu joindre d'autres. Et cependant j'avoue que ses essais, et ses vües, quoyque fausses, ont servi à m'ouvrir le chemin à ce que j'ay trouvé sur ce mesme sujet.

» Je ne le donne pas comme estant exempt de tout doute, ni à quoy on ne puisse faire des objections. Il est trop difficile d'aller jusque là dans des recherches de cette nature. Je crois pourtant que si l'hypothèse principale, sur laquelle je me fonde, n'est pas la véritable, il y a peu d'espérance qu'on la puisse rencontrer, en demeurant dans les limites de la vraye et saine Philosophie. »

Ainsi Huygens, tout en rejetant la théorie même des tourbillons telle que l'a présentée Descartes, demeure pleinement dans la philosophie cartésienne. Rien ne le marque mieux que la première phrase de son *Discours*, qui peut être regardée comme un énoncé très clair de la physique selon Descartes : « Pour trouver une cause intelligible de la Pesanteur il faut voir comment il se peut faire, en ne supposant dans la nature que des corps qui soient faits d'une mesme matière, dans lesquels on ne considère aucune qualité ni aucune inclination à s'approcher les uns des autres, mais seulement des différentes grandeurs, figures et mouvements ; comment, dis-je, il se peut faire que plusieurs pourtant de ces corps tendent directement vers un mesme centre, et s'y tiennent assemblez à l'entour. »

Nous ne détaillerons pas le mécanisme proposé par Huygens pour expliquer la pesanteur ; il nous suffira d'avoir marqué la position, si franchement cartésienne, prise par le géomètre des Pays-Bas.

Entre le moment où Huygens communiquait à l'Académie des sciences de Paris son *Discours de la cause de la pesanteur*, et le moment (1690) où il le fit imprimer à Leyde, parut (1687) l'immortel ouvrage de Newton : *Philosophiae naturalis principia mathematica* ; si bien que Huygens dut rédiger une *addition* à son *Discours* pour réfuter les objections de Newton contre la physique cartésienne et opposer à la théorie newtonienne de la figure de la terre une théorie cartésienne que l'expérience a d'ailleurs condamnée. Le livre de Newton va devenir le point de départ d'une évolution dans la manière de traiter la physique.

La position prise par Newton dans la discussion relative à la réalité des actions à distance peut être caractérisée ainsi : Dans un grand nombre de cas, les mouvements des corps sont les mêmes que s'ils exerçaient à distance, les uns sur les autres, certaines actions attractives ou répul-

sives ; non seulement l'attraction universelle rend compte de tous les mouvements des corps célestes, mais encore les diverses branches de la physique doivent faire entrer en ligne de compte d'autres forces attractives ou répulsives : actions électriques, magnétiques, attraction ou répulsion moléculaire, action répulsive de la matière sur les corpuscules lumineux.

Ces actions à distance doivent-elles être regardées comme des propriétés essentielles et premières de la matière ? doivent-elles, au contraire, s'expliquer par la figure et le mouvement des particules qui composent un éther ? La probabilité est pour la seconde opinion.

Mais l'explication du mécanisme réel qui rendrait compte des actions à distance regardées comme fictives offre sans doute de grandes difficultés ; il convient donc de s'attacher d'abord à l'étude des actions à distance et de leurs effets, quitte à chercher ensuite, lorsque la physique sera plus avancée, par quels mouvements et par quels chocs ces actions se transmettent.

En tout cas, le but du physicien est atteint lorsqu'il est parvenu à ramener une classe étendue de phénomènes à la considération de certaines actions à distance, soumises à des lois mathématiques précises ; l'explication de ces forces et des lois qui les assujettissent est œuvre de métaphysicien.

Que telle est bien la pensée de Newton, c'est ce qui résultera de quelques citations :

« Hactenus, dit-il au Livre des *Principes*, phaenomena coelorum et maris nostri per vim gravitatis exposui, sed causam gravitatis nondum assignavi. Oritur utique haec vis a causa aliqua, quae penetrat ad usque centra solis et planetarum, sine virtutis diminutione ; quaeque agit non pro quantitate superficierum particularum, in quas agit (ut solent causae mechanicae), sed pro quantitate materiae solidae. Rationem harum gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potui deducere et hypotheses non fingo.

Satis est quod gravitas revera existat et agat secundum leges a nobis expositas. »

Plus tard, en la célèbre xxxi<sup>e</sup> question qui termine l'*Optique*, Newton écrit : « Les corps agissent les uns sur les autres par les attractions de la gravité, du magnétisme et de l'électricité, il n'est pas improbable qu'il existe d'autres pouvoirs attractifs que ceux-là. Comment ces attractions se produisent-elles ? Je ne le veux point examiner ici. Ce que je nomme attraction peut être produit par *impulsion* ou par tout autre moyen qui m'est inconnu. Je me sers seulement de ce mot pour désigner d'une manière générale toute force par laquelle les corps tendent l'un vers l'autre, quelle qu'en soit la cause. » Puis, plus loin : « Expliquer chaque propriété des choses en les douant d'une qualité spécifique occulte par laquelle seraient engendrés et produits les effets qui se manifestent à nous, c'est ne rien expliquer du tout. Mais tirer des phénomènes deux ou trois principes généraux de mouvement ; expliquer ensuite toutes les propriétés et les actions des corps au moyen de ces principes clairs, c'est vraiment, en Philosophie, un grand progrès, lors même que les causes de ces principes ne seraient pas découvertes ; c'est pourquoi je n'hésite pas à proposer les principes du mouvement, tout en laissant de côté les recherches des causes. »

D'ailleurs, cette recherche des causes que Newton laisse en dehors de l'exposé de ses théories, il ne la méprise pas ; maint passage de ses ouvrages ou de ses lettres nous le montre préoccupé de la cause de la gravité et cherchant cette cause dans les mouvements de l'éther. Mais, tout en estimant utile la recherche des causes, il marque nettement en quoi elle se sépare de la physique : la physique n'a pas pour but de nous dire les causes des effets que nous observons autour de nous ; son but, plus modeste, consiste d'abord à grouper les faits en lois — c'est l'objet de la physique expérimentale, — puis



à réduire les lois à un petit nombre de principes généraux, énoncés dans le clair langage des mathématiques — c'est l'objet de la physique théorique. Au-dessus de la physique expérimentale, au-dessus de la physique théorique, se place la science qui a pour but de ramener à leurs causes véritables les principes de cette dernière; mais cette science n'est plus de la physique, c'est cette branche de la métaphysique que l'on nomme la cosmologie.

Voilà la distinction que Galilée et Pascal avaient déjà pratiquée, que Newton entend affirmer et qu'il prend pour guide dans la composition de ses traités.

Ses contemporains ne le comprirent pas.

Les uns, obstinément attachés aux idées de Descartes, persuadés que toute physique « intelligible » ne pouvait faire entrer en considération que « des corps qui soient faits d'une même matière, dans lesquels on ne considère aucune qualité ni aucune inclination à s'approcher les uns des autres, mais seulement des différentes grandeurs, figures et mouvements », ne pouvaient se résoudre à attacher une valeur quelconque à la physique que préconisait Newton; pour eux, nulle différence entre ces principes généraux de mouvement que Newton proposait sans en rechercher les causes, et les qualités occultes de cette ancienne physique où l'on expliquait l'expérience de Torricelli par l'horreur du vide ou par la légèreté mouvante. « Je reviens donc à ce que j'ai avancé, dit un Cartésien (1) discutant les principes de Newton, et je conclus qu'en suivant la méthode de ce grand géomètre, rien n'est plus facile que de développer le mécanisme de la nature; voulez-vous vous rendre raison d'un phénomène compliqué, exposez-le géométriquement, vous aurez tout fait; ce qui pourra rester d'embarrassant pour le physicien dépendra

(1) De Gamacher, *Principes généraux de la Nature appliqués au mécanisme astronomique et comparés aux principes de la philosophie de M. Newton*. Paris, 1740.

à coup sûr ou d'une loi primordiale, ou de quelque détermination particulière » (1).

Les autres, méconnaissant la pensée de Newton, prirent pour explications ces principes dont le grand géomètre avait si bien reconnu la nature, et crurent que l'attraction universelle ou moléculaire était la cause véritable et ultime des phénomènes physiques. Les progrès de la *physique* créée par Newton ne tardèrent pas à faire triompher cette *métaphysique* qui, bien à tort, se réclamait de lui. Nous retrouverons tout à l'heure cette école dont Laplace et Poisson sont les plus illustres représentants.

Leibnitz avait d'abord embrassé les doctrines cartésiennes; sans doute, et dès le principe, il ne les adopte pas en aveugle et sans les corriger; dans sa *Theoria motus abstracti* et dans sa *Theoria motus concreti*, il rejette la conservation de la quantité de mouvement telle que l'enseignait Descartes, pour la remplacer par la con-

(1) Dans un article sur les *Théories physiques*, publié par la REV. DES QUEST. SCIENT., j'ai insisté sur la distinction que marque Newton entre le but de la physique théorique et la recherche des causes; dans le BULLETIN PHILOSOPHIQUE (1892, pp. 653-5), un savant auteur a cru devoir mettre ses lecteurs en garde contre le « venin de scepticisme » que mes doctrines lui paraissent recéler. « Ce n'est point par amour de la métaphysique, dit-il, que M. Duhem lui laisse ainsi le champ libre; c'est bien plutôt par dédain; il ne veut pas sur son domaine à lui de cette plante étrangère. Il pense que la physique ne doit ni accepter le joug de la métaphysique, ni lui imposer le sien. Ainsi, il ne s'agit plus d'accord, chaque science fera ses affaires dans son coin. La philosophie, repentante d'avoir négligé le monde physique, s'était mise à étudier les sciences et à rentrer en harmonie avec elles. La science fuit de son côté et refuse de prêter aucun concours à la philosophie. Mais est-ce encore de la science, une étude qui renonce à savoir ce que les choses sont en elles-mêmes et quelles sont leurs causes? » — J'en demande pardon à mon savant contradicteur, mais je crois qu'il ne m'a pas compris; en cherchant à marquer la séparation entre la science positive et la métaphysique, je n'entends dédaigner ni l'une, ni l'autre de ces deux sciences, et je pense faciliter leur accord beaucoup mieux que si je confondais l'objet et la méthode de l'une avec l'objet et la méthode de l'autre. Mon savant contradicteur constate que ces idées ont trouvé faveur auprès de quelques scolastiques; c'est en effet un des grands titres de gloire de la philosophie d'Aristote d'avoir reconnu que chaque science avait son domaine propre et ses méthodes indépendantes, et que l'harmonie n'exigeait pas la confusion — au contraire.

servation de la projection de cette quantité sur un axe quelconque ; il y adjoint la conservation des forces vives ; mais, si les développements de sa mécanique diffèrent de ceux de Descartes, les fondements métaphysiques sur lesquels elle repose sont bien ceux du grand philosophe français ; non seulement, il dit : « en gros, cela se fait par figure et mouvement », mais encore, dans sa *Theoria motus concreti*, suivant l'exemple audacieux de Descartes et de Huygens, il tente « de dire quels et de construire la machine » ; il essaye d'expliquer d'une manière purement mécanique, par des mouvements d'un éther, la lumière, la pesanteur, l'élasticité, le magnétisme, etc. ; il pense qu'admettre une force telle que l'attraction à distance, ce serait faire retour aux qualités occultes dont la physique avait eu tant de peine à se débarrasser. Pendant toute sa vie, il continue de rejeter la réalité de l'attraction newtonienne, et son opinion sur ce point semblait du reste bien conforme à son système où les monades sont incapables d'action réelle les unes sur les autres. Sa métaphysique, cependant, devait amener ses successeurs à regarder les actions à distance comme la véritable explication des phénomènes naturels. Expliquons comment s'est effectuée cette évolution.

Pour Leibnitz, il n'y a aucune action réelle, directe, des monades les unes sur les autres ; lorsque deux monades semblent agir l'une sur l'autre, c'est, en réalité, parce que les perceptions de l'une se développent d'elles-mêmes en harmonie avec les perceptions de l'autre, harmonie préétablie par la souveraine sagesse et la souveraine puissance de Dieu.

Or, ce ne sont pas seulement les perceptions de deux monades en contact qui ont entre elles une harmonie préétablie ; cette harmonie existe entre les perceptions de deux monades, quelle qu'en soit la distance, car les perceptions d'une monade quelconque reflètent, plus ou moins distinctement, l'univers entier ; et même la distance

de deux monades n'est pas autre chose qu'un certain rapport entre les perceptions de ces deux monades.

Ainsi donc, toute action mutuelle des monades est une action purement fictive, un effet de l'harmonie préétablie par Dieu entre le développement interne de ces deux monades; mais, à cet égard, il n'y a pas de distinction à établir entre deux monades contiguës et deux monades distinctes.

Dans le système de Leibnitz, « les manières de parler ordinaires se sauvent encore très bien. Car on peut dire que la substance dont la disposition rend raison du changement, d'une manière intelligible (en sorte qu'on peut juger que c'est à elle que les autres ont été accommodées en ce point dès le commencement, selon les décrets de Dieu), est celle qu'on doit concevoir en cela, comme *agissante* ensuite sur les autres. »

D'après ce principe, comment se traduiront les conclusions que nous venons d'énoncer, sinon ainsi : les monades agissent les unes sur les autres aussi bien à distance qu'au contact, et elles agissent même quelque grande que soit la distance qui les sépare.

Il est bien vrai que l'action dont il est ici question est, pour Leibnitz, une action purement fictive, un effet de l'harmonie préétablie de Dieu ; mais rendons maintenant à chaque monade la propriété, dont Leibnitz l'avait privée, de causer d'une manière efficiente, quoique seconde, les modifications des autres monades, et nous arrivons au système du P. Boscowich et de Kant, aux monades matérielles exerçant les unes sur les autres, *même à distance*, des actions attractives et répulsives, véritables causes, sources d'une véritable explication des phénomènes physiques. Ainsi, en réduisant la matière à l'étendue, Descartes rejetait forcément l'action à distance; en proclamant que la matière n'est pas seulement l'étendue, Leibnitz supprime toutes les raisons qui conduisaient à nier l'action des parties non contiguës de la matière.

Tandis que la métaphysique de Leibnitz donnait ainsi naissance à une philosophie qui faisait des actions attractives et répulsives à distance la véritable cause de tous les phénomènes, les géomètres, par une voie différente, arrivaient à une conclusion semblable.

Newton avait séparé le rôle de la physique, qui consiste selon lui à réduire le grand nombre des lois expérimentales à un petit nombre de principes théoriques, du rôle de la métaphysique, qui consiste à rechercher les causes d'où découlent ces principes ; il avait montré que le premier de ces deux ordres de recherches devait être poussé très avant pour qu'il fût possible d'aborder le second ; que, sans la métaphysique, la physique avait droit à l'existence, bien qu'elle ne nous donnât qu'une connaissance incomplète du monde.

Fidèles à ces enseignements, les grands géomètres abandonnèrent la tradition de ceux qui, comme Descartes et Huygens, ne séparaient pas l'étude théorique des lois de la nature et la recherche des causes d'où ces lois découlent ; ils cherchèrent à approfondir les lois de la physique sans en demander l'explication métaphysique ; et, donnant à ces lois la forme qui s'était montrée si féconde entre les mains de Newton, ils tentèrent de réduire tous les phénomènes du monde matériel à des actions attractives ou répulsives s'exerçant à grande ou à petite distance entre les molécules matérielles.

Leurs recherches furent d'une étonnante fécondité. Pendant que d'Alembert, Mac Laurin, Clairaut, Euler, Lagrange, Laplace, perfectionnaient la mécanique céleste, Coulomb, Poisson, Ampère, créaient la théorie de l'électricité, Clairaut, Laplace et Gauss celle de la capillarité, Navier, Fresnel, Poisson, Cauchy, celle de l'élasticité, Laplace, celle de la chaleur.

Ces succès prodigieux firent oublier aux physiciens la sage réserve de Newton ; la puissance de l'instrument dont ils disposaient leur fit prendre cet instrument pour la

clef de l'univers ; ils crurent qu'il leur donnait non seulement l'image théorique, mais encore l'explication métaphysique du monde ; ils finirent par faire passer la théorie des actions à distance du rang de représentation synthétique au rang d'explication.

Cette présomptueuse tendance perce à chaque instant dans les écrits des plus grands d'entre eux. Laplace, parlant de l'attraction moléculaire, dit : « Tous les phénomènes terrestres dépendent de ce genre de forces, comme les phénomènes célestes dépendent de la gravitation universelle. Leur considération me paraît devoir être maintenant le principal objet de la philosophie mathématique. Il me semble même utile de l'introduire dans les démonstrations de la mécanique, en abandonnant les considérations abstraites de lignes sans masse, flexibles ou inflexibles, et de corps parfaitement durs. Quelques essais m'ont fait voir qu'en se rapprochant ainsi de la nature on pouvait donner à ces démonstrations autant de simplicité et beaucoup plus de clarté que par les méthodes usitées jusqu'à ce jour. »

Poisson dit de même « qu'il serait à désirer que les géomètres reprissent sous ce point de vue physique et *conforme à la nature* les principales questions de la mécanique. Il a fallu les traiter d'une manière tout à fait abstraite pour découvrir les lois générales de l'équilibre et du mouvement ; et, en ce genre d'abstraction, Lagrange est allé aussi loin qu'on le puisse concevoir ;... c'est là ce qui constitue la *mécanique analytique* ; mais, à côté de cette admirable conception, on pourrait maintenant élever la *mécanique physique*, dont le principe unique serait de ramener tout aux actions moléculaires. »

Ampère écrit, au début de son grand mémoire sur l'électrodynamique : « L'époque que les travaux de Newton ont marquée dans l'histoire des sciences n'est pas seulement celle de la plus importante des découvertes que l'homme ait faites sur les causes des grands phénomènes

de la nature ; c'est aussi l'époque où l'esprit humain s'est ouvert une nouvelle route dans les sciences qui ont pour objet l'étude de ces phénomènes.

» Jusqu'alors on en avait presque exclusivement cherché les causes dans l'impulsion d'un fluide inconnu qui entraînait les particules matérielles suivant la direction de ses propres particules ; et partout où l'on voyait un mouvement révolutif, on imaginait un tourbillon dans le même sens.

» Newton nous a appris que cette sorte de mouvement doit, comme tous ceux que nous offre la nature, être ramenée par le calcul à des forces agissant toujours entre deux particules matérielles suivant la droite qui les joint, de manière que l'action exercée par l'une d'elles sur l'autre soit égale et opposée à celle que cette dernière exerce en même temps sur la première, et qu'il ne puisse, par conséquent, lorsqu'on suppose ces deux particules liées invariablement entre elles, résulter aucun mouvement de leur action mutuelle. C'est cette loi confirmée aujourd'hui par toutes les observations, par tous les calculs, qu'il exprima dans le dernier des trois axiomes qu'il plaça au commencement des *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Mais il ne suffisait pas de s'être élevé à cette haute conception ; il fallait trouver suivant quelle loi ces forces varient avec la situation respective des particules entre lesquelles elles s'exercent, ou, ce qui revient au même, en exprimer la valeur par une formule.

» Newton fut loin de penser qu'une telle loi pût être inventée en partant de considérations abstraites plus ou moins plausibles. Il établit qu'elle devait être déduite des faits observés, ou plutôt de ces lois empiriques qui, comme celles de Képler, ne sont que les résultats généralisés d'un grand nombre de faits.

» Le principal avantage des formules qui sont ainsi conclues immédiatement de quelques faits généraux donnés par un nombre suffisant d'observations pour que la

certitude n'en puisse être contestée, est de rester indépendantes, tant des hypothèses dont leurs auteurs ont pu s'aider dans la recherche de ces formules, que de celles qui peuvent leur être substituées dans la suite. L'expression de l'attraction universelle déduite des lois de Képler ne dépend point des hypothèses que quelques auteurs ont essayé de faire sur une cause mécanique qu'ils voulaient lui assigner. »

Nous pourrions multiplier les citations de ce genre, en emprunter à Fresnel, à Cauchy ; de toutes se dégagerait une impression analogue : non seulement ces grands géomètres pensent que, lorsqu'ils ont ramené les lois d'une classe de phénomènes à des actions attractives ou répulsives s'exerçant à distance, leur rôle de physicien est rempli — et, en cela, ils sont dans leur droit ; — mais encore, on les sent pleins de dédain pour les tentatives de ceux qui veulent assigner des causes à ces actions ; parfois même ils proclament hautement qu'ils ont obtenu une théorie conforme à la nature des choses et que, par conséquent, il n'y a rien à chercher au delà.

Ainsi, les métaphysiciens issus de Leibnitz comme les physiciens qui ont continué l'œuvre de Newton arrivent, à la fin du siècle dernier et au commencement de celui-ci, à se rencontrer en une même cosmologie : le monde est composé de points matériels, distants les uns des autres, entre lesquels s'exercent des forces attractives ou répulsives, causes de tous les phénomènes physiques ; ces actions sont des propriétés premières de la matière, qui expliquent tout et qu'il est inutile et vain de chercher à expliquer.

C'est vers cette époque (1782-1818) que Lesage, de Genève, tente de réagir contre la tendance générale, et d'expliquer l'attraction universelle que tout le monde regarde comme une propriété première de la matière. Lesage (1) se représente les particules matérielles non

(1) Nous empruntons cet exposé de la théorie de Lesage, dont les publica-



comme des solides pleins, mais comme de fines charpentes creuses. L'espace est supposé rempli de projectiles (*corpuscules ultra-mondains*), extraordinairement petits par rapport aux atomes matériels, marchant en tout sens avec des vitesses prodigieuses ; parmi tous ceux qui passent dans le domaine de l'atome, un nombre excessivement petit le rencontrent ; ceux-là sont déviés de leur route, avec une petite diminution de leur quantité de mouvement. L'ensemble des corpuscules qui se dirigent vers l'atome possède une quantité de mouvement plus grande que ceux qui en émanent. Un autre atome exposé à leurs chocs sera donc poussé vers le premier par une force inversement proportionnelle au carré de la distance. Quant à la loi des masses, elle dérivera des hypothèses faites sur la loi de perte de mouvement par le choc. Si la diminution relative de la quantité de mouvement des corpuscules par un atome est suffisamment petite, l'attraction sera proportionnelle aux masses, même pour des corps aussi gros que les astres.

Cette théorie, analogue en bien des points à celle du P. Leray, demeura une tentative isolée ; elle ne parvint pas à troubler le triomphe des « attractionnistes ».

Ce triomphe s'est prolongé, à peu près incontesté, jusqu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle ; les derniers échos en ont retenti jusqu'à nos jours ; Weber et ses disciples en Allemagne, Athanase Dupré et Hirn en France — pour ne citer que des morts — font reposer toute leur cosmologie sur l'existence d'actions attractives et répulsives entre particules matérielles distantes, actions qui découlent de l'essence même de la matière, et qui, par conséquent, ne peuvent être réduites à un mécanisme qui les expliquerait.

Mais tout triomphe a son terme, et, dans les théories philosophiques comme dans toutes les choses humaines,

tions ne sont pas entre nos mains, à l'écrit si intéressant de M. Marcel Brillouin : *Recherches récentes sur diverses questions d'hydrodynamique*, Paris, Gauthier-Villars, 1891.

la roche Tarpéienne est près du Capitole. Nous assistons, depuis un certain nombre d'années, à une réaction de plus en plus marquée contre l'explication du monde par les actions à distance et à un retour aux tendances générales de l'École cartésienne.

Les causes de cette réaction sont diverses.

Au premier rang, il convient de placer l'abus de la méthode préconisée par Laplace et Poisson; c'est du reste une loi générale que toute réaction contre une tendance ait pour cause principale l'excès de cette tendance. Pour remplacer les forces de liaison de Lagrange par des actions moléculaires, Poisson écrivit d'indigestes mémoires, encombrés d'un fatras de calculs compliqués; les conséquences de ces calculs le mettaient en contradiction parfois avec l'expérience, comme dans l'étude de l'élasticité, parfois même avec les plus belles conquêtes de la théorie de l'attraction moléculaire, comme dans la théorie de la capillarité, où il fut amené à contester les doctrines de Laplace et de Gauss. Cauchy, poussant jusqu'au bout, avec une prodigieuse audace d'analyse, la tendance attractionniste, voulut, pour rendre compte des lois de l'optique, pénétrer dans le détail des relations de la matière et de l'éther; il ne se contenta pas de dire que tout se faisait par attraction moléculaire; il voulut marquer comment « et construire la machine ». L'extrême complication des calculs, le peu de certitude des hypothèses sur lesquelles ils reposaient, finirent par rebuter les physiciens.

D'autre part, la vogue de la théorie de l'attraction moléculaire a été grandement amoindrie par les progrès de sciences qui n'en étaient pas issues, ou qui même contra-riaient ses tendances.

La thermodynamique, en rayant de la science le calorique et les forces attractives ou répulsives dont il était la source, a enlevé à la doctrine de l'attraction moléculaire une part étendue de son domaine; la théorie cinétique des gaz a repris les explications qui avaient été

autrefois rattachées par Bernoulli à la philosophie cartésienne; l'étude des mouvements tourbillonnaires des fluides a ramené l'attention sur les tourbillons de Descartes et a manifesté des attractions apparentes, en tout semblables aux actions électrodynamiques qu'Ampère réputait réelles.

Cette double poussée a conduit les physiciens à se passer des actions à distance partout où il était possible de ne pas les invoquer, et, dans les théories d'où l'on ne pouvait les éliminer, à tenter du moins de les expliquer; de là, les vues de Faraday et de Maxwell sur l'explication des actions électriques par les propriétés d'un milieu éthéré; de là, la théorie cosmologique de sir W. Thomson, fondée sur la conception des atomes tourbillons; de là, en un mot, le développement d'une physique mécanique que l'on peut, à juste titre, regarder comme une renaissance du Cartésianisme. Dans ce mouvement, les travaux du P. Leray ont une place, et non des moins importantes.

Nous avons passé en revue les principales variations des philosophes au sujet de la nature des actions à distance; le lecteur serait peut-être en droit de nous demander une conclusion; mais, à la vue des opinions si diverses que tant de grands génies ont émises sur cette question, nous nous arrêtons effrayé et nous n'osons nous déclarer compétent en un pareil procès. Nous nous contenterons de rappeler à ceux qui nous accuseraient de laisser suspendus dans le doute les principes de la physique, que la solution du procès, intéressante au plus haut point pour la métaphysique, n'a pas d'influence sur les théories de la physique. Que les actions à distance soient ou ne soient pas des propriétés premières des éléments des corps, le physicien a toujours le droit de les employer dans ses spéculations, mais en se souvenant bien que ses efforts tendent à condenser en quelques principes la multitude

des lois expérimentales et non à ramener les phénomènes à leurs causes ; et nous terminerons en répétant ce mot de Newton : « Tirer des phénomènes deux ou trois principes généraux de mouvement ; expliquer ensuite toutes les propriétés et les actions des corps au moyen de ces principes clairs ; c'est vraiment, en Philosophie, un grand progrès, lors même que les causes de ces principes ne seraient pas découvertes. »

---

# PHYSIQUE ET MÉTAPHYSIQUE

---

Nous avons publié (1), il y a quelque temps, dans les feuilles de cette *Revue*, quelques réflexions sur les théories physiques ; nous nous étions attaché surtout à marquer le rôle exact des théories physiques, qui ne sont, selon nous, que des moyens de classer et de coordonner les lois expérimentales et non pas des explications métaphysiques nous dévoilant les causes des phénomènes.

Cette idée n'a pas été du goût de tous les penseurs ; plusieurs se sont inscrits en faux contre notre affirmation et se sont élevés fort vivement contre elle ; tout récemment, l'un des membres les plus justement estimés de notre Société scientifique, M. Vicaire, a consacré à la combattre un article (2) de la *Revue des questions scientifiques*.

Sans vouloir traiter ici toutes les objections explicitement ou implicitement soulevées par M. Vicaire contre notre manière de voir, nous pensons que sa thèse peut se résumer fidèlement de la manière suivante :

*Il n'est pas vrai que la science positive, en construisant ses théories, ait simplement pour objet de classer les lois*

(1) P. Duhem. *Quelques réflexions au sujet des théories physiques*. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, 2<sup>e</sup> série, tome I, janvier 1892.

(2) E. Vicaire. *De la valeur objective des hypothèses physiques*. IBID., tome III, avril 1893.

*expérimentales; son légitime objet est la recherche des causes; le nier, c'est soutenir une doctrine suspecte de positivisme et capable de mener au scepticisme; cette doctrine, condamnée par toute la tradition des grands physiciens, est dangereuse, car elle tue l'activité scientifique.*

C'est cette thèse, opposée à la nôtre, que nous nous proposons de combattre point par point.

Afin d'éviter toute confusion à ceux de nos lecteurs qui sont habitués aux termes de la philosophie scolastique, nous commencerons par une remarque importante.

Pour nous conformer au langage moderne, nous nommons *physique* l'étude expérimentale des choses inanimées envisagée dans ses trois phases : la constatation des faits, la découverte des lois, la construction des théories ; nous regardons la recherche de l'essence des choses matérielles en tant que causes des phénomènes physiques comme une subdivision de la *métaphysique*, subdivision qui forme, avec l'étude de la matière vivante, la *cosmologie*. Cette division ne correspond pas exactement à la division péripatéticienne : l'étude de l'essence des choses constitue, dans la philosophie péripatéticienne, la *métaphysique* ; l'étude du *mouvement* des choses matérielles, c'est-à-dire des modifications que l'essence de ces choses subit par tout passage de la puissance à l'acte, est la *physique* ; la physique et la métaphysique péripatéticienne sont réunies sous le nom de *métaphysique* dans notre langage moderne ; la *physique* péripatéticienne est notre *cosmologie* ; quant à l'étude expérimentale des lois physiques et à leur réunion en théories, la philosophie péripatéticienne ne donne pas à cette science de nom spécial ; une seule branche de cette science, l'*astronomie*, avait, à l'époque d'Aristote, un développement capable d'attirer l'attention ; aussi ce que nous dirons en général de la *physique*, entendue au sens moderne, correspond à peu près à ce que les anciens disaient de l'*astronomie*.

## I

## DISTINCTION ENTRE LA PHYSIQUE ET LA MÉTAPHYSIQUE.

L'intelligence de l'homme n'a pas la connaissance directe, la vision immédiate de l'essence des choses extérieures; ce que nous connaissons directement de ces choses, ce sont les phénomènes dont elles sont le siège et la succession de ces phénomènes.

De la connaissance des phénomènes, nous pouvons tirer une certaine connaissance des choses elles-mêmes, parce qu'elles sont les causes efficientes de ces phénomènes et que la connaissance d'un effet nous fournit certains renseignements sur la substance qui cause cet effet, sans nous donner cependant une connaissance pleine et adéquate de cette substance.

Ainsi, pour acquérir une intelligence du monde extérieur aussi complète que le permettent nos moyens de connaître, il nous faut gravir successivement deux degrés de science : il nous faut, en premier lieu, étudier les phénomènes et établir les lois suivant lesquelles ils se succèdent; en second lieu, induire de ces phénomènes les propriétés des substances qui les causent.

La seconde de ces sciences est celle qui a reçu le nom de *métaphysique*; la première se partage en diverses branches, selon la nature des phénomènes étudiés; la branche de science qui étudie les phénomènes dont la matière inanimée est le siège, porte aujourd'hui le nom de *physique*.

*Lorsque, dans ce qui va suivre, nous parlerons de la métaphysique, nous entendrons toujours parler de la partie de la métaphysique qui traite de la matière non vivante et qui, par conséquent, correspond à la physique par la nature des choses qu'elle étudie. Cette partie de la métaphysique est souvent nommée Cosmologie.*

Nous pouvons résumer ce que nous venons de dire dans les deux définitions suivantes :

*La physique est l'étude des phénomènes dont la matière brute est le siège et des lois qui les régissent.*

*La cosmologie cherche à connaître la nature de la matière brute, considérée comme cause des phénomènes et comme raison d'être des lois physiques.*

Il y a donc, entre la métaphysique et la physique, une distinction de nature.

Toutefois, il importe de ne pas se méprendre sur l'origine de cette distinction : elle ne découle pas de la nature des choses étudiées, mais seulement de la nature de notre intelligence. Une intelligence qui aurait la vue directe, intuitive, de l'essence des choses — telle, d'après l'enseignement des théologiens, une intelligence angélique — ne ferait pas de distinction entre la physique et la métaphysique ; une telle intelligence ne connaîtrait pas successivement les phénomènes et la substance, cause de ces phénomènes ; elle connaîtrait simultanément la substance et ses modifications. Il en serait de même d'une intelligence qui aurait de l'essence des choses non pas une intuition directe, mais une vue adéquate, bien qu'indirecte, par la vision béatifique de la pensée divine.

## II

### DANS L'ORDRE LOGIQUE, LA PHYSIQUE PRÉCÈDE LA MÉTAPHYSIQUE.

La connaissance que la métaphysique nous donne des choses est plus intime, plus profonde, que celle qui nous est fournie par la physique ; elle surpasse donc cette dernière en excellence ; mais, si la métaphysique a la priorité sur la physique dans l'ordre d'excellence, elle vient après la physique dans l'ordre logique ; nous ne pouvons



connaître l'essence des choses qu'en tant que cette essence est la cause et la raison d'être des phénomènes et des lois qui les régissent ; l'étude des phénomènes et des lois doit donc précéder la recherche des causes ; c'est ainsi que, lorsqu'on gravit un escalier, le degré le plus élevé est celui que l'on franchit en dernier lieu.

Cette priorité logique de la physique sur la métaphysique est un point essentiel, sur lequel il nous faut insister pour éviter tout malentendu.

Voici, en premier lieu, une proposition qui ne nous semble pas pouvoir être contestée :

Aucune recherche métaphysique touchant la matière brute ne peut être faite logiquement avant que l'on ait acquis une certaine connaissance de la physique.

Il est bien évident, en effet, que l'on ne peut songer à rechercher quoi que ce soit sur les causes des phénomènes avant d'avoir étudié les phénomènes eux-mêmes et d'en avoir acquis une certaine connaissance.

Mais une fois qu'une certaine connaissance de la physique a permis les premières recherches métaphysiques et que ces recherches ont fourni certains renseignements sur la nature des choses matérielles, ne peut-on suivre l'ordre inverse, descendre l'escalier que l'on a gravi, et de ce que l'on sait sur la nature des choses matérielles, déduire les phénomènes qui s'y doivent produire et les lois auxquelles ces phénomènes obéissent ?

Nier d'une manière absolue la possibilité d'une semblable marche de l'esprit nous semblerait au moins téméraire ; théoriquement, il est possible que la connaissance de la nature des choses, obtenue par la métaphysique, permette d'établir, par voie déductive, une vérité physique ; mais, pratiquement, la méthode qui consisterait à prendre la métaphysique pour point de départ dans la découverte des vérités physiques paraît très difficile et pleine de dangers ; il est aisé d'en découvrir la raison.

La connaissance complète et adéquate des substances

entraîne la connaissance complète et adéquate des phénomènes qu'elles peuvent produire ; la connaissance des causes implique la connaissance des effets. Mais la réciproque de cette proposition n'est pas exacte ; un même effet peut être produit par plusieurs causes différentes ; en sorte que la connaissance, même entière et complète, d'un ensemble de phénomènes, ne saurait nous donner la connaissance complète des substances en lesquelles ils se produisent.

Lors donc que, partant de certaines connaissances physiques, aussi parfaites et étendues que l'on voudra, nous remontons des effets aux causes pour obtenir une métaphysique, nous acquérons de l'essence des choses matérielles une connaissance très incomplète, très imparfaite ; cette connaissance procède plutôt par négations que par affirmations ; plutôt par exclusion de certaines hypothèses qui pourraient être faites sur la nature des choses que par renseignements positifs sur cette nature ; c'est seulement dans quelques cas rares que, par l'exclusion de toutes les hypothèses possibles sauf une, nous parvenons à acquérir un document positif sur l'essence des choses matérielles.

Pour bien comprendre ce point essentiel, il importe de ne jamais confondre les *vérités métaphysiques établies* avec les *systèmes métaphysiques* ; les vérités métaphysiques, ce sont les propositions peu nombreuses et, pour la plupart, de forme négative, que nous obtenons en remontant des phénomènes observés aux substances qui les causent ; un système métaphysique, au contraire, est un ensemble de jugements positifs, mais hypothétiques pour la plupart, par lesquels un philosophe cherche à relier entre elles, dans un ordre logique et harmonieux, les vérités métaphysiques ; un pareil système est acceptable lorsque aucune des hypothèses dont il se compose ne heurte une vérité métaphysique établie ; mais il demeure toujours problématique à un haut degré et jamais il ne s'impose à la raison d'une manière inéluctable.

Ce que nous venons de dire au sujet des vérités métaphysiques montre avec évidence comment ces vérités ne peuvent presque jamais devenir le point de départ d'une déduction aboutissant à une découverte physique. Lorsque, en nous appuyant sur la connaissance d'un ensemble de phénomènes, nous sommes parvenus à démontrer l'impossibilité de certaines suppositions touchant les substances en lesquelles se produisent ces phénomènes, à acquérir même certains renseignements positifs au sujet de ces substances, la vue que nous en avons demeure trop générale, trop peu *déterminée*, pour nous faire prévoir l'existence d'une nouvelle classe de phénomènes, pour nous faire deviner une nouvelle loi physique.

Les systèmes métaphysiques nous proposent une définition de la nature des choses plus détaillée, plus déterminée, que celle qui nous est fournie par les vérités métaphysiques démontrées; par là, les systèmes métaphysiques deviennent, plus aisément que les seules vérités métaphysiques, capables de nous conduire à des conséquences physiques; mais tandis qu'une conséquence physique déduite de propositions métaphysiques certaines participerait de la certitude de ces dernières, une conséquence physique, déduite d'un système métaphysique, est frappée du caractère douteux, problématique, dont le système est affecté; elle ne peut être regardée comme établie; elle n'est qu'une indication que la physique aura à examiner et sur laquelle elle prononcera souverainement.

En résumé, *il est sinon impossible, du moins extrêmement difficile, de déduire de vérités métaphysiques bien établies une vérité physique nouvelle; quant aux systèmes métaphysiques, ils peuvent suggérer une proposition de physique; mais la physique seule pourra décider si cette proposition est exacte ou inexacte.*

## III

## LA PHYSIQUE REPOSE SUR DES PRINCIPES ÉVIDENTS DE SOI ET EN DEHORS DE TOUTE CONSIDÉRATION MÉTAPHYSIQUE.

Puisqu'il est impossible, sinon en théorie, du moins en pratique, de faire sortir aucune vérité physique nouvelle des connaissances métaphysiques que nous pouvons acquérir sur la nature des choses, il faut, de toute nécessité, que la physique puisse se constituer par une méthode propre, indépendante de toute métaphysique. Cette méthode, qui permet d'étudier les phénomènes physiques, de découvrir les lois qui les enchaînent, sans recourir à la métaphysique, c'est la *méthode expérimentale*.

Cette méthode emploie un certain nombre de notions, par exemple les notions de phénomène physique et de loi physique, de corps, d'étendue, de temps, de mouvement; elle repose sur certains principes, tels que les axiomes de la géométrie et de la cinématique, tels que l'existence de lois déterminant l'enchaînement des phénomènes physiques.

Pour user de ces notions, pour faire usage de ces principes, il n'est pas nécessaire d'avoir fait de la métaphysique; d'eux-mêmes, ces principes, ces notions apparaissent à notre intelligence suffisamment certains, suffisamment distincts pour que nous puissions, sans crainte de confusion ni d'erreur, les mettre en œuvre par la méthode expérimentale. En fait, bon nombre de physiciens jouent avec sûreté, avec précision, avec fécondité de ces notions et de ces principes, fondements de la science qu'ils approfondissent et qu'ils développent, sans s'être demandé un seul instant ce que c'est, au point de vue métaphysique, qu'un corps ou qu'une loi.

C'est dans ce sens que l'on peut énoncer la proposition suivante : *La méthode expérimentale repose sur des principes évidents par soi et en dehors de toute métaphysique.*

Il n'en résulte pas que ces fondements de la méthode expérimentale échappent aux prises de la métaphysique et ne puissent devenir, pour cette science, des objets d'étude. En dehors de toute recherche métaphysique, nous avons la notion de corps, la notion de loi, d'une manière assez distincte pour pouvoir faire un usage légitime de ces notions dans toutes les recherches de la physique ; en dehors de toute recherche métaphysique, nous savons que tous les phénomènes dont la matière est le siège sont assujettis à des lois fixes, et la certitude de ce principe est telle que nous pouvons, sans hésitation, consacrer notre vie à la découverte de ces lois ; mais de ce que nous avons une intelligence de ces notions, une assurance de ce principe, suffisantes pour que nous puissions faire usage de ces notions et de ce principe au cours de nos recherches expérimentales, il n'en résulte pas que cette intelligence soit absolument claire et complète, que les fondements sur lesquels repose cette assurance nous soient connus, qu'il ne nous reste plus rien à apprendre touchant ces questions. Par exemple, nous avons du *corps* une idée suffisante pour que nous soyons assurés de ne pas prendre pour un corps quelque chose qui n'en serait pas un ; il n'en résulte pas que nous sachions d'une manière complète et adéquate en quoi consiste un corps ; il n'en résulte pas qu'il nous soit interdit de le rechercher, dans la limite du possible, et de livrer à l'examen métaphysique les fondements de la méthode expérimentale, afin d'en pénétrer l'essence et la raison d'être.

Mais cette recherche métaphysique, quelque importante qu'elle soit en elle-même, est sans contre-coup sur la méthode expérimentale ; en cherchant à nous rendre compte métaphysiquement d'une de ces notions, d'un de ces principes sur lesquels repose la physique, nous ne modifierons en rien l'usage qu'il convient de faire, en physique, de cette notion ou de ce principe. Placez côte à côte un physicien philosophe qui a usé ses veilles à creuser

la notion métaphysique de corps, et un autre physicien qui, voué exclusivement à sa science, n'a jamais réfléchi cinq minutes à cette même notion; tous deux, dans la pratique expérimentale, feront de cette notion le même usage; ce qu'il y a en cette notion d'évident par soi, c'est ce qui est nécessaire et suffisant en physique; ce que la métaphysique y découvre par après est absolument inutile à celui qui n'est et ne veut être que physicien.

*Ainsi, il appartient à la métaphysique de rendre compte des fondements, évidents par eux-mêmes, sur lesquels repose la physique; mais cette étude n'ajoute rien à leur certitude et à leur évidence dans le domaine de la physique.*

#### IV

##### LES THÉORIES PHYSIQUES SONT INDÉPENDANTES DE LA MÉTAPHYSIQUE ET RÉCIPROQUEMENT.

Toute science expérimentale est composée au moins de deux phases: la constatation des faits et leur réduction en lois; mais en celles qui, comme la physique, sont parvenues à un degré suffisant de perfection, une troisième phase vient s'adjoindre aux deux autres: c'est la phase théorique. Sans elle, les lois expérimentales formeraient un amas confus et inextricable où l'esprit aurait une peine extrême à s'orienter, où il découvrirait difficilement la loi dont, dans chaque cas particulier, il a à faire usage. *La théorie a pour but de classer les lois expérimentales.* Entre un ensemble de lois expérimentales prises telles que l'expérience les a fait découvrir et le même ensemble de lois reliées par une théorie, il y a la même différence qu'entre un amas de documents amoncelés pêle-mêle et les mêmes documents soigneusement classés en une collection méthodique; ce sont les mêmes documents; ils disent exacte-

ment la même chose et de la même manière ; mais, dans le premier cas, leur désordre les rend inutiles, car on n'est jamais sûr de retrouver le document dont on a besoin au moment ou on en aura besoin ; tandis que, dans le second cas, ces documents sont rendus féconds par un groupement méthodique qui met sûrement et sans peine, entre les mains du chercheur, le document désiré.

Les lois physiques gardent exactement le même sens lorsqu'une théorie les relie que lorsqu'elles sont disséminées et isolées ; elles ne nous apprennent rien de plus dans le premier cas que dans le second ; seulement, dans le premier cas, elles sont plus aisées à embrasser, plus aptes à être employées, que dans le second. La science physique ne change donc pas de caractère et de portée en devenant théorique ; elle devient plus parfaite de forme, mieux ordonnée, plus simple et, par conséquent, plus belle ; elle demeure la même quant au fond ; elle reste physique, elle ne devient pas métaphysique. *La théorie physique, en classant un ensemble de lois expérimentales, ne nous enseigne absolument rien sur la raison d'être de ces lois et sur la nature des phénomènes qu'elles régissent.*

Ainsi comprise, ainsi réduite à son véritable rôle, la théorie physique devient, comme la physique tout entière, absolument indépendante de la métaphysique ; puisque aucune des propositions dont l'ensemble constitue une théorie physique n'est un jugement sur la nature des choses, aucune de ces propositions ne peut jamais être en contradiction avec une vérité métaphysique qui, elle, est toujours un jugement sur la nature des choses ; cette différence essentielle entre une proposition de physique théorique et une vérité métaphysique montre également que l'une ne peut jamais être identique à l'autre. *Il est donc absurde de chercher, parmi les vérités métaphysiques, soit la confirmation, soit la condamnation d'une théorie physique, du moins tant que celle-ci demeure confinée au domaine qui lui est propre.*

Réciproquement, puisqu'une théorie physique, en classant un ensemble de lois, n'ajoute absolument rien au contenu de ces lois, elle ne fournit comme point de départ à la recherche métaphysique aucune donnée autre que celles que l'on pourrait tirer de ces mêmes lois non classées, non réduites en théorie. Par conséquent, tandis que les lois physiques sont le point de départ logique de toute recherche métaphysique touchant l'essence des choses matérielles, les théories physiques ne sauraient exercer aucune influence directe sur les progrès de cette recherche ; si elles servent la métaphysique, c'est indirectement, en rendant les lois physiques qu'elles classent et résument plus aisément présentes à l'esprit du philosophe. *La subordination qu'une théorie établit entre diverses lois physiques en vue de les classer ne nous oblige nullement à admettre une subordination semblable entre les lois métaphysiques dont ces lois physiques sont la manifestation.*

On peut résumer les deux propositions que nous venons d'établir en disant que *les théories physiques et les vérités métaphysiques sont indépendantes les unes des autres.*

Comme c'est là le point essentiel de notre discussion, donnons encore quelques éclaircissements, afin d'éviter toute méprise.

Imaginons que nous soyons parvenus à une connaissance métaphysique approfondie, détaillée, de l'essence des choses matérielles ; les lois physiques, qui découlent de cette essence, nous apparaîtraient dans un ordre, dans une subordination qui résulteraient de leur nature même ; il est bien certain que cet ordre nous donnerait de ces lois physiques la plus parfaite classification ; il est bien certain qu'une explication métaphysique complète de la nature des choses matérielles nous fournirait, par le fait même, la plus parfaite des théories physiques. Mais, remarquons-le bien, lors même que nous connaîtrions cette théorie physique, reproduction de l'ordre métaphysique, nous serions encore libres logiquement d'en adopter une autre,



d'enchaîner les lois physiques dans un ordre différent, d'accepter un autre mode de représentation des phénomènes physiques ; sans doute, en repoussant la première théorie, nous serions déraisonnables, parce qu'elle est plus parfaite ; nous pécherions contre la loi qui veut qu'en tout ordre de choses nous choisissons ce qui excelle ; mais nous ne violerions aucun principe de logique ; nous ne commettrions pas une absurdité. Une classification, en effet, n'est pas un jugement ; elle peut être commode ou incommode, bonne ou mauvaise ; elle ne peut pas être vraie ou fausse.

D'ailleurs, l'hypothèse dans laquelle nous venons de nous placer est purement idéale ; nos connaissances métaphysiques certaines, nous l'avons vu, sont trop peu déterminatives, sont d'un caractère trop négatif, pour nous marquer dans quel ordre les diverses lois physiques se subordonnent les unes aux autres, pour nous donner de ces lois une classification susceptible d'être érigée en théorie physique. Pour déduire de la métaphysique une théorie physique déterminée, il faut s'appuyer non pas seulement sur des vérités métaphysiques démontrées, mais sur un système métaphysique ; et, de fait, il n'est presque aucun système métaphysique qui n'ait cherché à établir des théories physiques ; mais un système métaphysique, quelque acceptable, quelque satisfaisant qu'on le suppose, est toujours hypothétique à un haut degré ; il n'est donc nullement évident qu'une théorie physique déduite d'un système métaphysique soit meilleure qu'une autre théorie établie en dehors de toute considération sur l'essence des choses.

Ainsi une théorie physique, tant qu'elle demeure en son domaine propre et qu'elle se propose seulement de classer les lois expérimentales, est absolument indépendante de toute métaphysique ; et non seulement elle ne dépend pas des systèmes métaphysiques plus ou moins vraisemblables qui se partagent les écoles philosophiques, mais encore

elle est indépendante des vérités métaphysiques les mieux établies touchant l'essence des choses matérielles ; en sorte qu'elle demeure également acceptable non seulement pour ceux qui soutiennent les systèmes métaphysiques les plus différents, mais encore pour ceux qui nieraient les vérités métaphysiques les mieux démontrées ; cantonnée dans son fort, elle ne craint que deux sortes d'adversaires : les physiciens qui la contestent soit au nom de l'expérience, soit au nom d'autres théories physiques, et les sceptiques qui nient l'évidence et la certitude de quelqu'une des notions, de quelqu'un des principes sur lesquels repose logiquement la science expérimentale ; ces derniers, la physique n'a pas qualité pour les combattre ; elle n'est pas armée pour cela ; c'est à la métaphysique de montrer que les fondements de la méthode expérimentale sont solides ; le physicien est tenu d'admettre cette vérité comme évidente ; sur le terrain propre de ses théories, le physicien ne peut et ne doit accepter le combat qu'avec le physicien.

## V

LA THÈSE PRÉCÉDEMMENT EXPOSÉE N'EST NI SCEPTIQUE,  
NI POSITIVISTE.

Nous venons d'exposer la thèse essentielle, selon nous, de l'indépendance mutuelle entre les théories physiques et les recherches métaphysiques ; essayons maintenant de dissiper quelques-unes des objections que l'on adresse le plus souvent à cette thèse.

Affirmer la séparation naturelle qui existe entre les théories physiques et les doctrines métaphysiques, est-ce ouvrir une porte au scepticisme ? est-ce faire une concession au positivisme ?

Il est presque impossible de marquer à une science ses justes limites, celles que lui imposent et la nature des

objets qu'elle étudie et la nature de notre esprit, sans s'entendre aussitôt accuser de scepticisme. Il semble à certains que chacune des méthodes logiques dont dispose notre raison est toute-puissante ; que chacune d'elles peut aborder tous les sujets et en révéler les secrets les plus cachés ; dans l'atelier de la connaissance humaine, chaque outil est propre, suivant eux, aux besognes les plus diverses, et notre intelligence ressemble un peu à ce chimiste qui se vantait de savoir limer avec une scie et scier avec une lime. Funeste prétention du dogmatisme, qui engendre les pires erreurs et fournit au scepticisme ses arguments les plus troublants ! Interrogez une âme que ronge le doute, non pas ce doute facile et léger né de la paresse et de la vanité, mais le doute anxieux et douloureux issu de l'analyse et de la méditation ; cherchez par quelle voie le doute a pénétré dans cette âme ; demandez-lui comment s'est évanouie sa foi en la raison ; toujours vous recevrez une réponse semblable ; toujours elle a désespéré parce que des déductions soigneusement liées l'amenaient à une conclusion manifestement fausse, parce qu'une âpre recherche se refusait à produire un résultat attendu ; examinez alors d'où venait cette erreur, d'où venait cette stérilité : toujours d'une extension illégitime donnée à une méthode logique légitime. L'outil était disposé pour un ouvrage déterminé ; l'ouvrier a voulu lui donner une autre destination ; il a eu beau le manier longtemps, user ses forces, déployer sa dextérité, il n'a rien fait ou n'a fait que de mauvaise besogne ; alors, rebuté, il a jeté l'outil loin de lui et s'est croisé les bras.

Voulez-vous ramener au travail ce découragé ? Voulez-vous, à l'avenir, lui éviter les mécomptes et les déceptions ? Enseignez-lui l'usage exact de ses outils ; enseignez-lui qu'une scie n'est bonne qu'à scier et une lime à limer. Il en va de même avec les moyens de connaître que Dieu a mis à la disposition de notre raison. Rien de plus propre à favoriser le scepticisme que de confondre les domaines

des diverses sciences; rien, au contraire, de plus efficace contre cette tendance dissolvante que la définition exacte des diverses méthodes et la démarcation précise du champ que chacune d'elles doit explorer.

En niant à la métaphysique le droit de régenter les recherches physiques, en niant aux théories physiques le droit de s'ériger en explications métaphysiques, sommes-nous positiviste? Nous soutenons que les sciences positives doivent être traitées par les méthodes propres aux sciences positives; nous soutenons que ces méthodes reposent sur des principes évidents de soi et peuvent fonctionner indépendamment de toute recherche métaphysique; nous soutenons que ces méthodes, efficaces dans l'observation des phénomènes et dans la découverte des lois, sont incapables de saisir les causes et d'atteindre les substances; mais ce n'est pas là être positiviste. Être positiviste, c'est affirmer qu'il n'y a pas d'autre méthode logique que la méthode des sciences positives; que ce qui est inabordable à cette méthode, que ce qui est inconnaissable aux sciences positives, est en soi et absolument inconnaissable; est-ce là ce que nous soutenons?

Voulez-vous faire le jeu du positivisme? Confondez le domaine de la métaphysique avec le domaine de la physique, la méthode métaphysique avec la méthode expérimentale; discutez les théories physiques par des raisons tirées des systèmes métaphysiques; englobez, dans vos systèmes métaphysiques, les théories de la science positive. Le positiviste n'aura pas de peine à vous démontrer que les méthodes physiques ne peuvent atteindre les conséquences que vous prétendez en déduire, et il en conclura que les fondements de la métaphysique chancellent; il n'aura pas de peine à vous démontrer que vos déductions métaphysiques ne peuvent rien à l'endroit de théories physiques appuyées sur des lois expérimentales, et il en conclura que la métaphysique est condamnée par ses conséquences.

Si vous n'établissez pas une séparation radicale entre la physique et la métaphysique, si vous les confondez, vous êtes tenus de reconnaître que la méthode physique est bonne même en métaphysique ; c'est donner gain de cause au positivisme.

## VI

### LA THÈSE PRÉCÉDENTE AU POINT DE VUE DE LA TRADITION.

Ceux qui combattent la thèse précédente se prétendent volontiers appuyés sur la tradition ; d'après eux, tous les grands penseurs, tous les grands savants, ont considéré les théories physiques comme une tentative, comme un progrès vers l'explication métaphysique des choses ; tous ont cherché non pas à classer les phénomènes, mais à en découvrir les causes ; c'est l'espoir de rendre raison des effets physiques qui leur a donné le courage de poursuivre leurs recherches, et la fécondité de celles-ci nous montre avec évidence que cet espoir n'était pas une illusion.

Rien de plus faux, au point de vue historique, que cette manière d'envisager la tradition.

Aristote et la philosophie péripatéticienne admettaient, au sujet des rapports entre la physique et la métaphysique, une thèse qui concorde essentiellement avec celle que nous avons développée ; ils n'en faisaient guère l'application qu'à l'astronomie, seule branche de la physique qui fût développée à cette époque, mais ce qu'ils disaient du mouvement des astres s'entend sans peine des autres phénomènes naturels. « Ils séparaient nettement (1) l'*Astronomie*, science des *phénomènes* célestes, de la recherche des *causes* des mouvements des astres et des

(1) P. MANSION. *Sur les principes fondamentaux de la géométrie, de la mécanique et de l'astronomie*. Paris, Gauthier-Villars, 1893.

spéculations sur la réalité et la non-réalité de ces mouvements ; les études de ce genre étaient réservées à la *Physique*, c'est-à-dire à cette partie de la philosophie appelée aujourd'hui *Cosmologie*. Dès lors, le choix des hypothèses astronomiques était pour eux chose indifférente, et il n'y avait aucun inconvénient à adopter le point de vue géocentrique, plus conforme aux apparences et d'application plus directe que l'autre. »

Schiaparelli cite, à ce propos, un passage caractéristique de Posidonius (ou de son abrégiateur Geminus), conservé par Simplicius, le commentateur d'Aristote : « Il est indifférent pour l'astronome de savoir ce qui est immobile et ce qui se meut. Il peut admettre toute hypothèse qui représente les phénomènes, par exemple celle qui est rapportée par Héraclite du Pont, d'après laquelle l'anomalie des planètes par rapport au Soleil est expliquée au moyen d'un mouvement de la Terre autour du Soleil, considéré comme fixe. L'astronome doit ensuite recourir aux physiciens pour les principes fondamentaux de ses recherches. »

Tous les commentateurs d'Aristote adoptent l'opinion si clairement exprimée dans le passage que nous venons de citer ; c'est ainsi que saint Thomas d'Aquin, dans le commentaire du *De Coelo* d'Aristote, s'exprime ainsi sur les hypothèses des astronomes (*Ad. lect. XVII, lib. II*) :

*Illorum (Astrologorum) autem suppositiones quas adinvenerunt, non est necessarium esse veras : licet enim talibus suppositionibus factis appareant solvere, non tamen oportet dicere has suppositiones esse veras, quia forte secundum aliquem alium modum nondum ab hominibus comprehensum apparentia circa stellas salvatur. Aristoteles tamen utitur hujusmodi suppositionibus ad qualitatem motuum tanquam veris.*

Ce ne sont pas seulement les philosophes de l'antiquité et du moyen âge qui séparent les hypothèses purement représentatives, sans portée métaphysique, dont le physi-

cien se sert pour classer les faits, de l'explication véritable de ces mêmes faits; les astronomes, les physiciens conforment leurs écrits à ces principes.

Par exemple, lorsque Archimède entreprend d'écrire une théorie mathématique des corps flottants, — la première théorie de physique mathématique qui ait été composée, — il ne cherche pas à savoir ce que les liquides sont en eux-mêmes et à découvrir la raison d'être métaphysique de leurs propriétés; il se contente d'énoncer une proposition, qu'il nomme *hypothèse*, et de démontrer que les lois physiques des corps flottants peuvent se déduire logiquement de cette hypothèse. Cette hypothèse fondamentale d'Archimède peut s'énoncer de la manière suivante (1) :

« Supposons que tout liquide soit de telle nature que si l'on considère les parties en contact situées sur une même surface normale à la direction de la pesanteur, la moins poussée cède à celle qui l'est plus. Disons encore que chacune des parties est poussée par le liquide qui est au-dessus d'elle suivant la verticale. »

On voit clairement, par la nature même de cette hypothèse, qu'elle ne prétend pas être une explication métaphysique des propriétés des liquides; la raison d'être de ces propriétés ne devient en aucune façon plus apparente lorsque Archimède montre qu'on les peut toutes tirer logiquement de la proposition précédente; seulement ces propriétés sont alors classées et condensées; en sorte que la première théorie de physique mathématique qui ait été écrite est en même temps le modèle des théories telles que nous les entendons.

Copernic (2) procède en astronomie comme Archimède

(1) « *Supponatur humidum habens talem naturam ut partibus ipsius ex aequo jacentibus et existentibus continuis expellatur minus pulsa a magis pulsa, et unaquaeque autem partium ipsius pellatur humido quod supra ipsius existente secundum perpendicularem.* » — V. *Le Traité des corps flottants d'Archimède*, trad. nouvelle par M. Adrien Legrand. JOURNAL DE PHYSIQUE, 2<sup>e</sup> série, tome X, pp. 437-457, 1891.

(2) Ce qui suit, concernant Copernic, est extrait de P. MANSION, *loc. cit.*

en hydrostatique. « On a retrouvé de nos jours une espèce de résumé ou d'annonce de son livre des *Révolutions*, résumé qu'il a écrit vers 1530. Le titre de cet opuscule est : « *Nicolai Copernici de HYPOTHESIBUS motuum coelestium a se constitutis commentariolus.* » Dans le préambule, il annonce qu'il va expliquer le système du monde mieux que ses devanciers : « *Si nobis aliquae PETITIONES, quas axiomata vocant, concedantur.* » Suivent sept postulats, où il demande qu'on lui accorde l'immobilité du Soleil, la mobilité de la Terre, l'énorme distance des étoiles, etc.

» Dans la *Narratio prima* de Rheticus, annonce plus étendue écrite sous l'inspiration et sans doute sous les yeux de Copernic, il n'est partout question que d'hypothèses anciennes ou nouvelles.

» Il en est de même dans le livre des *Révolutions*. Dans deux chapitres seulement, Copernic quitte le terrain de l'astronomie pour aborder celui de la physique, au sens aristotélicien, c'est-à-dire de la cosmologie. Dans l'un (lib. I, cap. VII), il expose les raisons de Ptolémée en faveur de l'immobilité de la Terre ; dans l'autre (cap. VIII), il essaie de montrer qu'elles sont peu probantes en se plaçant au point de vue de la physique. Il conclut modestement : « *Vides ergo quod ex his omnibus, PROBABILIOR sit mobilitas terrae quam ejus quies, praesertim in quotidiana revolutione, tanquam terrae maxime propria.* »

» Mais, dans tout le reste de l'ouvrage, il écrit au point de vue phénoménal ; il se contente de donner une explication systématique des mouvements célestes, *solis immobilitate concessa*, ou *per assumptam telluris mobilitatem*, comme il le dit en maintes occasions.

» L'auteur (Osiander probablement) de la préface anonyme du livre des *Révolutions* a donc résumé à la fois la tradition thomiste et la pensée de Copernic, au lieu de la trahir, comme on l'a dit souvent, en écrivant les passages suivants : « *Neque enim necesse est eas hypotheses esse veras, imo ne verisimiles quidem, sed sufficit hoc unum si*



» *calculus observationibus congruentem exhibeant... Neque  
 » quisquam, quod ad hypotheses attinet, quicquam CERTI ab  
 » astronomia expectet, cum ipsa nihil præstare queat.* »

A la fin du xvi<sup>e</sup> siècle et au commencement du xvii<sup>e</sup> siècle, l'esprit humain subit l'une des plus grandes révolutions qui aient bouleversé le monde de la pensée. Les règles logiques, tracées par le génie grec, avaient été acceptées jusque-là avec une intelligente docilité par les maîtres de l'École, puis avec une étroite servilité par la scolastique en décadence; à ce moment, les penseurs les rejettent; ils prétendent réformer la logique, forger à nouveau les outils dont se sert la raison humaine, et, avec Bacon, créer un *novum organum*; ils brisent les lignes de démarcation établies par les péripatéticiens entre les diverses branches du savoir humain; le *distinguo*, qui servait à délimiter exactement les questions et à marquer à chaque méthode le champ qui lui est propre, devient un terme ridicule dont s'empare la comédie; alors, on voit disparaître l'ancienne barrière qui séparait l'étude des phénomènes physiques et de leurs lois d'avec la recherche des causes; alors, on voit les théories physiques prises pour des explications métaphysiques, les systèmes métaphysiques chercher à établir, par voie déductive, des théories physiques.

L'illusion que les théories physiques atteignent les véritables causes et la raison même des choses pénètre en tout sens les écrits de Képler et de Galilée; les discussions qui composent le procès de Galilée seraient incompréhensibles à qui n'y verrait pas la lutte entre le physicien qui veut que ses théories soient non seulement la représentation, mais encore l'*explication* des phénomènes, et les théologiens qui maintiennent l'ancienne distinction et n'admettent pas que les raisonnements physiques et mécaniques de Galilée puissent quoi que ce soit à l'encontre de leur cosmologie.

Mais celui qui a le plus contribué à rompre la barrière entre la physique et la métaphysique, c'est Descartes.

La méthode de Descartes révoque en doute les principes de toutes nos connaissances et les laisse suspendus à ce doute méthodique jusqu'au moment où elle parvient à en démontrer la légitimité par une longue chaîne de déductions issue du célèbre « Je pense, donc je suis ». Rien de plus contraire qu'une semblable méthode à l'idée péripatéticienne, selon laquelle une science telle que la physique repose sur des principes évidents par eux-mêmes, dont la métaphysique peut creuser la nature, mais dont elle ne peut accroître la certitude.

La première proposition de physique que Descartes établit, en suivant sa méthode, lui donne, selon lui, la connaissance de l'essence même de la matière. « La nature du corps consiste en cela seul qu'il est une substance qui a de l'extension. » L'essence de la matière étant ainsi connue, on pourra, par la méthode de la géométrie, en déduire l'explication de tous les phénomènes naturels. « Je ne reçois point de principes en physique, » dit Descartes, résumant la méthode par laquelle il prétend traiter cette science, « qui ne soient aussi reçus en mathématiques, afin de pouvoir prouver par démonstration tout ce que j'en déduirai, et ces principes suffisent, d'autant que tous les phénomènes de la nature peuvent être expliqués par leur moyen. »

Telle est l'audacieuse formule de la cosmologie cartésienne ; l'homme connaît l'essence même de la matière, qui est l'étendue ; il peut donc, logiquement, en déduire toutes les propriétés de la matière ; la distinction entre la physique qui étudie les phénomènes et leurs lois, et la métaphysique qui cherche à saisir quelques renseignements sur l'essence de la matière en tant qu'elle est la cause des phénomènes et la raison d'être des lois, se trouve dénuée de fondement ; l'esprit ne part pas de la connaissance du phénomène pour s'élever ensuite à la connaissance de la matière ; ce qu'il connaît tout d'abord, c'est la nature même de la matière, et l'explication des phénomènes en découle.

Cette formule audacieuse, Descartes en pousse jusqu'au bout les conséquences ; il ne se contente pas d'affirmer que l'explication de tous les phénomènes naturels peut être déduite de cette proposition : « l'essence de la matière consiste en l'étendue » ; cette explication, il tente de la donner en détail ; il cherche à construire le monde en partant de cette définition, et, lorsque son œuvre est terminée, il s'arrête pour la contempler et déclare que rien n'y manque ; « Qu'il n'y a aucun phénomène dans la nature qui ne soit compris en ce qui a été expliqué en ce traité », tel est le titre de l'un des paragraphes des *Principes de la Philosophie*.

Descartes, toutefois, semble avoir été un instant effrayé par la hardiesse de sa doctrine cosmologique et avoir cherché à la rapprocher de la doctrine péripatéticienne ; c'est ce qui résulte de la lecture de l'un des articles du livre des *Principes de la Philosophie* ; citons en entier cet article qui touche de près à l'objet qui nous occupe.

« On répliquera peut-être encore à ceci que bien que j'aie imaginé des causes qui pourraient produire des effets semblables à ceux que nous voyons, nous ne devons pas pour cela conclure que ceux que nous voyons soient produits par elles ; parce que, comme un horloger industrieux peut faire deux montres qui marquent les heures en même façon, et entre lesquelles il n'y ait aucune différence en ce qui paraît à l'extérieur, qui n'aient toutefois rien de semblable en la composition de leurs roues, ainsi il est certain que Dieu a une infinité de divers moyens par chacun desquels il peut avoir fait que toutes les choses de ce monde paraissent telles que maintenant elles paraissent, sans qu'il soit possible à l'esprit humain de connaître lequel de tous ces moyens il a voulu employer à les faire ; ce que je ne fais aucune difficulté d'accorder. Et je croirai avoir assez fait si les causes que j'ai expliquées sont telles que tous les effets qu'elles peuvent produire se trouvent semblables à ceux que nous voyons dans le monde, sans

m'informer si c'est par elles ou par d'autres qu'ils sont produits. Même je crois qu'il est aussi utile pour la vie de connaître des causes ainsi imaginées, que si on avait la connaissance des vraies : car la médecine, les mécaniques, et généralement tous les arts à quoi la connaissance de la physique peut servir, n'ont pour fin que d'appliquer tellement quelques corps sensibles les uns aux autres que, par la suite des causes naturelles, quelques effets sensibles soient produits ; ce que l'on pourra faire tout aussi bien en considérant la suite de quelques causes ainsi imaginées, quoique fausses, que si elles étaient les vraies, puisque cette suite est supposée semblable en ce qui regarde les effets sensibles. Et afin qu'on ne puisse pas s'imaginer qu'Aristote ait jamais prétendu rien faire de plus que cela, il dit lui-même au commencement du septième chapitre du premier livre de ses *Météores*, que, « pour ce qui est des » choses qui ne sont pas manifestes aux sens, il pense » les démontrer suffisamment et autant qu'on peut désirer » avec raison, s'il fait seulement voir qu'elles peuvent » être telles qu'il les explique. »

Mais cette sorte de concession aux idées de l'École est manifestement en désaccord avec la méthode de Descartes ; elle est seulement une de ces précautions contre la censure de l'Église que prenait volontiers le grand philosophe, fort ému, comme on sait, par la condamnation de Galilée ; du reste, il semble que Descartes lui-même ait craint que l'on prît sa prudence trop au sérieux, car il fait suivre l'article que nous venons de citer de deux autres, ainsi intitulés « Que néanmoins on a une certitude morale que toutes les choses de ce monde sont telles qu'il a été ici démontré qu'elles peuvent être », « Et même qu'on en a une certitude plus que morale. »

Nous pensons donc que l'on peut sans erreur regarder Descartes sinon comme le premier des philosophes qui ont cessé de discerner la physique d'avec la cosmologie, du moins comme celui dont les écrits ont nié le plus claire-

ment et le plus complètement la distinction entre ces deux ordres de connaissance.

L'influence de Descartes sur les plus grands esprits de son siècle fut immense. Aussi voyons-nous, après lui, les plus puissants physiciens regarder leurs théories comme de véritables explications de la nature des choses et les appuyer par des raisons tirées de la métaphysique. Nous avons cité ailleurs (1) divers passages de Christian Huygens qui montrent clairement à quel point il partageait à cet égard les idées de Descartes.

Cette influence de Descartes fut extrêmement générale; toutefois, elle ne fut pas entièrement universelle; nous avons montré, dans l'article auquel nous faisons allusion, que Pascal ne l'avait pas subie sans quelque protestation; nous avons montré surtout que Newton n'avait jamais quitté la tradition de l'École; que toujours il avait nettement séparé les théories scientifiques, destinées à coordonner les lois physiques, et les recherches métaphysiques, destinées à faire connaître les causes des phénomènes; que toujours il avait maintenu la priorité logique des premières, parmi lesquelles il plaçait la mécanique céleste, sur les secondes. Par une heureuse coïncidence, dans la même livraison, M. de Kirwan (2), en commentant l'idée de Newton au sujet de l'action à distance, arrivait à comprendre de la même manière que nous la pensée de l'auteur des *Principes mathématiques de la Philosophie naturelle*.

Au XVIII<sup>e</sup> siècle et au XIX<sup>e</sup> siècle, l'exakte notion des relations entre la physique et la métaphysique s'obscurcit de plus en plus; bien des causes, au nombre desquelles l'influence plus ou moins directe des idées de Descartes joue un rôle prépondérant, tendent à confondre les théories et les explications. Il ne faudrait pas croire

(1) P. Duhem. *Une nouvelle théorie du monde organique*. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, 2<sup>e</sup> série, tome III, janvier 1893, page 117.

(2) Ch. de Kirwan, *Newton et l'action à distance*. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, 2<sup>e</sup> série, tome III, janvier 1893, page 169.

cependant que toute trace de la distinction qui doit être faite entre ces deux degrés de science ait disparu de l'esprit des physiciens ; ceux mêmes que l'orgueil de la découverte entraîne le plus loin, ceux qui ont en la puissance des théories physiques la plus entière confiance, reconnaissent, lorsque leurs méditations s'arrêtent sur cette question, que les théories dont ils sont si fiers ne sont peut-être pas des explications métaphysiques.

Dans l'article auquel nous renvoyons tout à l'heure le lecteur, nous avons cité Laplace au nombre de ceux qui regardaient la théorie de l'attraction universelle comme l'explication dernière des phénomènes naturels ; et, en effet, si l'on excepte les écrits de Poisson, il n'est peut-être aucun ouvrage qui respire une plus entière confiance en la puissance des théories mathématiques que la *Mécanique céleste* ; cette confiance, cependant, n'est pas entièrement aveugle ; en quelques endroits de son *Exposition du système du monde*, Laplace indique que cette attraction universelle, qui, sous forme de gravité ou d'attraction moléculaire, coordonne tous les phénomènes naturels, n'en est peut-être pas l'explication ; qu'elle-même dépend peut-être d'une cause plus élevée ; cette cause, il est vrai, Laplace semble la rejeter dans un domaine inconnaissable ; mais, en tous cas, il n'en reconnaît pas moins, avec Newton, que la recherche de cette cause, si elle est possible, constitue un problème distinct de celui que résolvent les théories astronomiques. « Ce principe, dit-il (1), est-il une loi primordiale de la nature ? n'est-il qu'un effet général d'une cause inconnue ? Ici, l'ignorance où nous sommes des propriétés intimes de la matière nous arrête, et nous ôte tout espoir de répondre d'une manière satisfaisante à ces questions. » « Le principe de la pesanteur universelle, dit-il encore (2), est-il une loi primordiale de la nature, ou n'est-il qu'un effet général d'une

(1) Laplace, *Exposition du système du monde*, livre IV, chapitre xvii.

(2) Laplace, *Ibid.*, livre V, chapitre v.

cause inconnue? Ne peut-on pas ramener à ce principe les affinités? Newton, plus circonspect que plusieurs de ses disciples, ne s'est point prononcé sur ces questions auxquelles l'ignorance où nous sommes des propriétés intimes de la matière ne permet pas de répondre d'une manière satisfaisante. »

Nous avons également cité Ampère au nombre de ceux qui pensaient trouver dans les attractions et les répulsions de diverses natures l'explication véritable des phénomènes physiques. Il est bien certain qu'Ampère regarde les lois établies par Newton, par Coulomb et par lui-même comme fournissant à la fois des théories physiques et des explications métaphysiques ; mais s'il croit posséder la solution simultanée du problème physique et du problème métaphysique, il ne confond pas ces deux problèmes ; à ceux qui refuseraient de reconnaître, dans le domaine de la métaphysique, la légitimité des solutions qu'il propose, il enjoint de les accepter du moins dans le domaine de la physique : « Le principal avantage des formules (1) qui sont ainsi conclues immédiatement de quelques faits généraux donnés par un nombre suffisant d'observations pour que la certitude n'en puisse être contestée, est de rester indépendantes, tant des hypothèses dont leurs auteurs ont pu s'aider dans la recherche de ces formules, que de celles qui peuvent leur être substituées dans la suite. L'expression de l'attraction universelle déduite des lois de Képler ne dépend point des hypothèses que quelques auteurs ont essayé de faire sur une cause mécanique qu'ils voulaient lui assigner. La théorie de la chaleur repose réellement sur des faits généraux donnés immédiatement par l'observation ; et l'équation déduite de ces faits se trouvant confirmée par l'accord des résultats qu'on en tire et de ceux que donne l'expérience, doit être également reçue comme exprimant les vraies lois de la pro-

(1) André-Marie Ampère, *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l'expérience*. Édition Hermann, p. 3.

pagation de la chaleur, et par ceux qui l'attribuent à un rayonnement de molécules calorifiques, et par ceux qui recourent pour expliquer le même phénomène aux vibrations d'un fluide répandu dans l'espace; seulement il faut que les premiers montrent comment l'équation dont il s'agit résulte de leur manière de voir, et que les seconds la déduisent des formules générales des mouvements vibratoires; non pour rien ajouter à la certitude de cette équation, mais pour que leurs hypothèses respectives puissent subsister. Le physicien qui n'a point pris de parti à cet égard admet cette équation comme la représentation exacte des faits, sans s'inquiéter de la manière dont elle peut résulter de l'une ou de l'autre des explications dont nous parlons ».

Nous pourrions multiplier ces citations; mais celles que nous avons données suffisent à éclairer l'idée que nous voulions mettre en lumière; Newton, Laplace, Ampère, nous ont montré que, même dans les temps modernes, si orgueilleux des développements de la science positive, la saine et prudente tradition de l'École n'a jamais disparu complètement; que toujours des physiciens, les plus grands par leurs inventions, ont reconnu que les théories mathématiques avaient pour objet de coordonner les lois naturelles, et que la recherche des causes constituait un autre problème, logiquement postérieur au précédent; que, par conséquent, cette doctrine, bien loin d'être pernicieuse pour la recherche scientifique, s'imposait sans peine aux esprits les plus féconds en découvertes.

Est-ce à dire qu'elle n'ait jamais été méconnue par de très grands savants? Assurément non. Les exemples de Descartes et de Huygens nous montrent que l'on peut donner aux théories physiques une prodigieuse impulsion en se trompant sur leur nature et en les confondant avec les explications cosmologiques; que l'on peut même puiser dans cette erreur, qui exagère l'importance du but



à atteindre, une puissante et féconde ardeur pour la recherche scientifique. Mais ces exemples n'ont rien qui nous puisse étonner et qui soit capable d'ébranler la distinction que nous avons essayé d'établir entre la construction d'une théorie physique et la recherche métaphysique des causes. Souvent l'illusion enflamme l'activité humaine plus que la claire connaissance de l'objet à poursuivre; est-ce une raison pour confondre l'illusion avec la vérité? D'admirables découvertes géographiques ont été faites par des aventuriers qui cherchaient le pays de l'or; faut-il, sur nos cartes, figurer l'Eldorado?

# L'ÉCOLE ANGLAISE

## ET

### LES THÉORIES PHYSIQUES

A PROPOS D'UN LIVRE RÉCENT DE W. THOMSON (1).

---

On vient de traduire en français un recueil de conférences scientifiques, portant sur diverses questions de physique générale, que W. Thomson a tenues dans des circonstances variées. En parcourant ces conférences, on éprouve un sentiment très étrange, le sentiment que l'on a bien sous les yeux l'œuvre d'un savant de premier ordre et que, cependant, cette œuvre n'est pas tout à fait de la science, du moins de la science telle que nous la comprenons, telle que nous l'aimons.

Ce sentiment, nous l'avons éprouvé, à un degré plus ou moins intense, toutes les fois que nous avons ouvert un livre écrit par l'un des physiciens de l'École anglaise contemporaine, Maxwell ou Lodge, Tait ou Thomson; c'est l'étonnement que cause à une intelligence française

(1) Sir W. Thomson (Lord Kelvin). *Conférences scientifiques et allocutions*, traduites et annotées sur la deuxième édition par P. Lugol; avec des extraits de mémoires récents de sir W. Thomson et quelques notes, par M. Brillouin. *Constitution de la matière*. Paris, Gauthier-Villars, 1893.

la forme spéciale sous laquelle le génie britannique conçoit et réalise la science physique.

Il nous a semblé intéressant d'analyser les causes de cet étonnement, de rechercher les caractéristiques du génie scientifique anglais; de classer les marques auxquelles se distingue « cette grande École anglaise de Physique Mathématique dont les travaux sont une des gloires de ce siècle » (1).

Aucun ne personnifie mieux cette École que W. Thomson; ingénieux comme Faraday, audacieux comme Maxwell, il est plus complet que chacun de ces deux génies; expérimentateur aussi habile que le premier, il manie la géométrie aussi aisément que le second, et, dans cette branche de science, il le surpasse par son esprit d'invention; ses recherches, non contentes d'embrasser le champ entier de la physique théorique, rayonnent dans le domaine des applications pratiques; grâce à elles, les navigateurs sont à l'abri des erreurs du compas, et les câbles sous-marins portent la pensée d'un continent à l'autre. Aussi, les *Conférences scientifiques* de W. Thomson nous fourniront-elles de précieux documents; par elles, nous saisirons le génie scientifique anglais sous sa forme la plus haute et la plus parfaite.

## I

Si l'on examine avec soin les particularités les plus saillantes de la physique anglaise, celles qui la distinguent le plus nettement de la science française ou allemande, on reconnaît bientôt que toutes ces particularités découlent d'un caractère très profond, très marqué de l'esprit anglais, caractère qui les relie les unes aux autres en les expliquant.

(1) O. Lodge. *Les Théories modernes de l'Électricité. Essai d'une théorie nouvelle*. Traduit de l'anglais et annoté par E. Meylan. Paris, Gauthier-Villars, 1891, p. 3.

L'Anglais possède, à un degré que l'on ne rencontre chez aucun autre peuple de l'Europe, une faculté imaginative qui lui permet de se représenter un ensemble très compliqué de choses concrètes, de les voir chacune à sa place, avec son mouvement et sa vie. Qui n'a été frappé, en lisant un quelconque des romanciers de la Grande-Bretagne, Dickens par exemple, de l'abondance et de la minutie des détails qui surchargent la moindre description ? Le lecteur français sent, tout d'abord, sa curiosité piquée par le pittoresque de chaque objet ; mais il ne peut voir l'ensemble, et l'effort stérile qu'il fait pour reconstituer le tableau dont les innombrables fragments sont épars devant ses yeux lui cause bientôt une fatigue qui souvent le rebute. L'Anglais, au contraire, voit sans peine l'agencement de toutes ces choses ; son imagination remet sans peine chacune d'elles à sa place, saisit le lien qui les unit et est charmée par ce qui nous lasse.

Cette extraordinaire puissance, ce développement anormal de la faculté d'imaginer des choses concrètes a sa contre-partie ; chez l'Anglais, la faculté de créer des notions abstraites, de les analyser, de les relier par des raisonnements rigoureusement construits, semble n'avoir pas la force et l'acuité qu'elle acquiert chez les peuples germaniques ou dans nos races latines. Les philosophes anglais ne sont guère occupés que des applications de la philosophie : psychologie, morale, science sociale ; ils aiment peu les recherches plus abstraites et y réussissent mal ; ils procèdent moins par suites de raisonnements que par entassements d'exemples ; au lieu d'enchaîner des déductions, ils accumulent des faits ; Darwin ou Spencer n'entament pas avec leurs adversaires la savante escrime de la discussion : ils les écrasent en les lapidant.

Extraordinaire puissance à voir le concret, extrême faiblesse à saisir l'abstrait, telle paraît être la caractéristique de ce génie anglais qui excelle à combiner des choses et à créer des hommes, à faire mouvoir les unes et vivre

les autres, mais qui semble impuissant à enfanter et à développer une idée; de ce génie qui a produit Shakespeare, mais qui n'a pas donné un métaphysicien.

Ces deux traits essentiels, ces deux marques distinctives, nous allons les retrouver sans cesse en analysant la forme sous laquelle l'École anglaise a conçu la physique.

## II

On trouve à chaque instant, dans les traités de physique publiés en Angleterre, un élément qui étonne à un haut degré l'étudiant français; cet élément, qui accompagne presque invariablement l'exposé d'une théorie, c'est ce que les savants britanniques nomment le *modèle*. Rien ne fait mieux saisir la façon, bien différente de la nôtre, dont procède l'esprit anglais dans la construction de la science, que cet usage du modèle.

Deux corps électrisés sont en présence; le physicien français ou allemand, qu'il se nomme Poisson ou Gauss, conçoit que, dans l'espace extérieur à ces corps, on place cette abstraction qui a nom point matériel, accompagnée de cette autre abstraction qu'on appelle charge électrique; il donne alors des formules qui permettent de déterminer la grandeur et la direction de la force à laquelle ce point matériel est soumis lorsqu'on le place en un point géométrique donné de l'espace; la direction de cette force touche, au point considéré de l'espace, une certaine ligne, la *ligne de force*; il démontre que les lignes de force aboutissent normalement aux surfaces des conducteurs électrisés; il calcule la force qui s'exerce sur chaque élément d'une telle surface.

Toute cette théorie de l'électrostatique constitue un ensemble d'idées et de propositions abstraites, formulées dans le clair langage de l'analyse et de la géométrie, reliées les unes aux autres par les règles d'une sévère

logique ; cet ensemble satisfait pleinement la raison d'un physicien français ou allemand.

Il n'en va pas de même pour un Anglais ; ces notions abstraites de fonction potentielle, de surfaces de niveau, de trajectoires orthogonales à ces surfaces, ne satisfont pas son besoin d'imaginer des choses matérielles, visibles et tangibles. « Tant que nous nous en tenons à ce mode d'expression, nous ne pouvons nous former une représentation mentale des phénomènes qui se passent réellement » (1). C'est pour satisfaire ce besoin qu'il va créer un modèle.

Là où le physicien français ou allemand concevait une famille de lignes de force, il va imaginer, lui, un paquet de fils élastiques, collés par leurs deux extrémités aux divers points des surfaces conductrices, distendus, cherchant à la fois à se raccourcir et à grossir, à diminuer de longueur et à augmenter de section ; lorsque les deux corps électrisés se rapprochent l'un de l'autre, il les voit tirés l'un vers l'autre par ces fils ; tel est le célèbre modèle des actions électrostatiques imaginé par Faraday, admiré, comme une œuvre de génie, par Maxwell et par l'École anglaise tout entière.

L'emploi de semblables modèles mécaniques, rappelant, par certaines analogies plus ou moins grossières, les particularités essentielles de la théorie qu'il s'agit d'exposer, est constant dans les traités de physique anglais ; les uns, comme le traité d'électricité de Maxwell, en font seulement un usage modéré ; d'autres, au contraire, font appel à chaque instant à ces représentations mécaniques. Voici un livre(2) destiné à exposer les théories modernes de l'électricité, à esquisser une théorie nouvelle ; il n'y est question que de cordes qui se meuvent sur des poulies, qui s'enroulent autour des tambours, qui traversent des perles, qui portent des poids ; de tubes qui pompent de l'eau, d'autres qui

(1) O. Lodge. *Op. cit.*, p. 16.

(2) O. Lodge. Ouvrage cité.

s'enflent et se contractent; de roues dentées qui engrènent les unes avec les autres, qui entraînent des crémaillères.

Bien loin que l'usage de ces modèles mécaniques facilite l'intelligence d'une théorie à un lecteur français, il faut au contraire à celui-ci, dans un grand nombre de cas, un effort sérieux pour saisir le fonctionnement de l'appareil, parfois très compliqué, que l'auteur lui décrit; un effort souvent beaucoup plus grand que celui qui est nécessaire pour comprendre dans sa pureté la théorie abstraite que le modèle prétend incarner.

L'Anglais, au contraire, trouve l'usage du modèle tellement nécessaire à l'étude de la physique que, pour lui, la vue du modèle finit par se confondre avec l'intelligence même de la théorie. Il est curieux de voir cette confusion formellement acceptée par celui même qui est, aujourd'hui, la plus haute expression du génie anglais, par W. Thomson : « Il me semble, dit-il (1), que le vrai sens de la question : Comprendons-nous ou ne comprenons-nous pas un sujet particulier en physique? est : Pouvons-nous faire un modèle mécanique correspondant? J'ai une extrême admiration pour le modèle mécanique de l'induction électromagnétique, dû à Maxwell; il a créé un modèle capable d'exécuter toutes les opérations merveilleuses que l'électricité fait dans les courants induits, etc., et il ne peut être douteux qu'un modèle mécanique de ce genre est extrêmement instructif et marque un pas vers une théorie mécanique de l'électromagnétisme.... Je ne suis jamais satisfait (2), tant que je n'ai pas pu faire un modèle mécanique de l'objet; si je puis faire un modèle mécanique, je comprends; tant que je ne puis pas faire un modèle mécanique, je ne comprends pas, et c'est pour cela que je ne comprends pas *la* théorie électromagnétique de la lumière. Je crois fermement en *une* théorie électromagnétique de la lumière; quand nous comprendrons

(1) W. Thomson. *Lectures on Molecular Dynamics*, p. 132.

(2) *Ibid.*, p. 270.

l'électricité, le magnétisme et la lumière, nous les verrons comme les parties d'un tout; mais je demande à comprendre la lumière le mieux possible sans introduire des choses que je comprends encore moins. Voilà pourquoi je m'adresse à la dynamique pure. »

### III

Comprendre un phénomène physique, c'est, pour les physiciens de l'École anglaise, composer un modèle qui imite ce phénomène; dès lors, comprendre la nature des choses matérielles, ce sera imaginer un mécanisme dont le jeu représentera, simulera, les propriétés des corps; l'École anglaise est donc acquise entièrement aux explications purement mécaniques des phénomènes physiques.

Ce n'est pas là, assurément, un caractère qui suffise à distinguer les doctrines anglaises des traditions scientifiques qui fleurissent en d'autres pays; les théories mécaniques sont issues d'un génie français, le génie de Descartes; elles ont longtemps régné sans contestation en France comme en Allemagne; ce qui distingue l'École anglaise, ce n'est pas d'avoir tenté la réduction de la matière à un mécanisme, c'est la forme particulière de ses tentatives dans ce but.

Sans doute, partout où les théories mécaniques ont germé, partout où elles se sont développées, elles ont dû leur naissance et leurs progrès à une défaillance de la faculté d'abstraire, à une victoire de l'imagination sur la raison. Si Descartes et les philosophes qui l'ont suivi ont refusé d'admettre l'existence de toute qualité de la matière qui ne se réduisait pas à la géométrie ou à la cinématique, c'est parce qu'une telle qualité était *occulte*; parce que, concevable seulement par la raison, elle demeurerait inaccessible à l'imagination; la réduction de la matière à l'étendue par les grands penseurs du xvii<sup>e</sup> siècle montre



clairement qu'à cette époque le sens métaphysique, épuisé par les excès de la Scolastique en décadence, entrainé en cet état de décrépitude où il languit encore aujourd'hui.

Mais, en France comme en Allemagne, le sens de l'abstraction peut avoir des défaillances ; il ne sommeille jamais complètement. Il est vrai, l'hypothèse que tout, dans la nature matérielle, se ramène à la géométrie et à la cinématique, est un triomphe de l'imagination sur la raison ; mais, après avoir cédé sur ce point essentiel, la raison, du moins, reprend ses droits lorsqu'il s'agit de déduire les conséquences, de construire le mécanisme qui doit représenter la matière. Descartes, par exemple, et Huygens après lui, une fois posé le principe que l'étendue est l'essence de la matière, ont bien soin d'en déduire que la matière a partout la même nature ; qu'il ne peut y avoir plusieurs substances matérielles différentes ; que, seules, les formes et les mouvements peuvent distinguer l'une de l'autre les différentes parties de la matière ; et ils cherchent à construire logiquement un système qui explique les phénomènes naturels en ne faisant intervenir que ces deux éléments : la figure des parties mues et le mouvement dont elles sont animées.

En outre, comme les facultés d'un Français ou d'un Allemand ne lui permettent pas d'imaginer un mécanisme lorsqu'il est quelque peu compliqué, le Français et l'Allemand exigeront de tout essai tenté pour expliquer mécaniquement l'univers, qu'il soit *simple* ; toute explication qui ferait intervenir un nombre considérable de substances élémentaires, qui les combinerait en un organisme compliqué, sera, de prime abord, rejetée par eux comme invraisemblable ; ils demanderont que l'on réduise la matière, en dernière analyse, à un petit nombre d'espèces d'atomes élémentaires, deux ou trois au plus ; que ces atomes aient des formes géométriques simples ; qu'ils soient doués seulement de quelques propriétés mécaniques essentielles ; que ces propriétés soient exprimées en des

propositions très brèves et très faciles à comprendre, propositions qu'ils chercheront d'ailleurs à justifier par des considérations métaphysiques. Que l'on examine toutes les explications mécaniques imaginées par des Français ou par des Allemands, depuis les doctrines de Descartes jusqu'aux théories du P. Leray, que nous analysons ici-même il y a peu de temps (1), et l'on y reconnaîtra toujours, d'une manière très nette, la double tendance vers l'abstraction et vers la simplicité.

Il n'en est pas de même des explications mécaniques créées par des génies britanniques. Leur puissante faculté imaginative se figure sans peine les mécanismes les plus embrouillés ; aussi ne craignent-ils pas d'attribuer à la matière une structure très complexe. W. Thomson, pour expliquer la dispersion des couleurs, regarde les molécules matérielles comme de véritables édifices, où interviennent des éléments rigides et des éléments élastiques ; son éther gyrostatique n'est guère simple et, cependant, il surpasse beaucoup en simplicité l'éther que construisent Maxwell et M. Oliver Lodge, afin de rendre compte des phénomènes électromagnétiques.

Non seulement les édifices par lesquels les physiciens anglais cherchent à représenter la constitution de la matière sont compliqués ; mais encore les matériaux qui les forment ne se réduisent pas à des formes géométriques douées de quelques propriétés abstraites élémentaires ; ce ne sont pas les matériaux avec lesquels Descartes cherche à construire la « machine » du monde, simples figures douées de la propriété d'échanger, par le choc, leurs quantités de mouvement sans en rien perdre ; non, ce sont des corps concrets, semblables à ceux que nous voyons ou que nous touchons, des solides rigides ou élastiques, des fluides compressibles ou non ; parfois, pour les rendre plus tangibles, pour mieux faire comprendre

(1) P. Duhem. *Une nouvelle théorie du monde inorganique*. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, janvier 1893.

qu'il s'agit non pas d'idées élaborées par l'abstraction, mais bien de corps pareils à ceux que nous manions tous les jours, W. Thomson affecte de les désigner par les noms les plus vulgaires : il les appelle des ficelles ou des renvois de sonnette ; les propriétés élémentaires dont sont doués ces corps, rigidité, élasticité, compressibilité, fluidité, flexibilité, ne reçoivent ni définition, ni justification métaphysique ; W. Thomson, par exemple, ne se pose jamais des questions philosophiques telles que celle-ci : Un des éléments ultimes de la matière peut-il occuper un volume variable ou ne le peut-il pas ? Est-il essentiellement incompressible, ou bien peut-il être comprimé ? Encore moins se demande-t-il ce qu'il faut entendre par le volume qu'occupe un atome. Les éléments qui constituent la matière sont semblables à ceux que nous voyons tous les jours autour de nous ; ils peuvent être fluides comme l'eau, compressibles comme l'air, élastiques comme l'acier, flexibles comme un fil de cocon ; leur nature n'a pas besoin d'être philosophiquement définie ; il suffit que leurs propriétés tombent sous les sens ; les mécanismes qu'ils servent à composer ne sont pas destinés à être saisis par la raison, ils sont destinés à être vus par l'imagination.

#### IV

Ce que nous avons dit de l'emploi des « modèles » pour « illustrer » les théories physiques va nous aider à comprendre le rôle que, dans le développement de ces mêmes théories, les Anglais font jouer aux mathématiques.

Certainement, plus d'un lecteur s'étonnera en nous entendant parler de la part qui revient à la faculté imaginative dans les recherches mathématiques ; les mathématiques passent pour une science que la faculté de créer des idées abstraites, jointe à la faculté de les enchaîner en raisonnements logiques, a seule le pouvoir d'engendrer et

de développer; cette opinion courante me paraît cependant fort inexacte, à moins qu'on ne l'explique.

Sans doute, toute branche des mathématiques pures ou appliquées traite de concepts qui sont des concepts abstraits; c'est l'abstraction qui fournit les notions de nombre, de ligne, de surface, d'angle, de masse, de force, de température, de quantité de chaleur ou d'électricité; c'est l'abstraction, c'est l'analyse philosophique qui démêlent et précisent les propriétés fondamentales de ces diverses notions, qui énoncent les axiomes et les postulats; ces notions abstraites, il serait possible de les enchaîner les unes aux autres par des raisonnements qui feraient intervenir presque exclusivement les facultés logiques de l'esprit; la géométrie d'Euclide nous offre un exemple d'un pareil enchaînement. Mais les procédés mathématiques ont précisément pour but de remplacer cette méthode extrêmement laborieuse par une autre qui est beaucoup plus aisée; au lieu de raisonner directement sur les notions abstraites qui l'occupent, de les envisager en elles-mêmes, le mathématicien profite de leurs propriétés les plus simples pour les représenter par des nombres, pour les *mesurer*; alors, au lieu d'enchaîner dans une suite de syllogismes les propriétés de ces notions elles-mêmes, il soumet leurs mesures à des manipulations opérées suivant des règles fixes, les règles de l'analyse mathématique. Or, dans l'analyse mathématique, une part très importante, celle que l'on peut, dans la plus large acception du mot, nommer le *calcul*, suppose, chez celui qui la développe ou qui l'emploie, bien moins la puissance d'abstraire et l'habileté à conduire par ordre ses pensées, que l'aptitude à se représenter les combinaisons diverses et compliquées que l'on peut former avec certains symboles, à voir les transformations qui permettent de passer de l'une de ces combinaisons à l'autre; l'auteur de certaines recherches analytiques n'a rien du métaphysicien; il ressemble à l'ingénieur qui combine des rouages

multiples, ou mieux au joueur qui, sans regarder l'échiquier, fait évoluer le fou et le cavalier.

D'après ce que nous avons dit du génie anglais, on doit penser que les géomètres de la Grande-Bretagne excelleront à jouer des algorithmes les plus compliqués de l'algèbre, bien plus qu'à creuser les principes mêmes sur lesquels reposent les mathématiques ; cette prévision ne se trouve-t-elle pas confirmée d'une manière éclatante si l'on compare les recherches d'un Sylvester à celles d'un Riemann ou d'un Weierstrass ?

Les mathématiques consistant surtout, pour l'Anglais, en un mécanisme algébrique, quel rôle leur fera-t-il jouer dans le développement d'une théorie physique ? Celui de *modèle*. De même que, pour éclairer une théorie physique, il construisait avec des matériaux solides ou liquides, élastiques ou flexibles, un appareil dont le jeu imitait les principaux phénomènes que la théorie avait pour objet de relier, de même, avec des symboles algébriques, il va construire un système représentant, par ses diverses transformations, la coordination des lois qu'il cherche à classer. Lorsqu'il construit un modèle, il le forme avec les matériels qui lui paraissent être les plus commodes, sans jamais se demander si l'agencement qu'il imagine a la moindre analogie de nature avec les corps dont il veut reproduire les propriétés, et cela lors même qu'il s'agit de représenter la constitution de la matière ; de même, lorsqu'il compose une théorie mathématique, peu lui importe de savoir à quels éléments réels correspondent les grandeurs algébriques qu'il fait entrer dans ses équations ; si ces équations imitent bien le jeu des phénomènes, peu lui importe la voie par laquelle elles ont été obtenues.

Ceux qui, en France ou en Allemagne, ont fondé la physique mathématique, Laplace, Poisson, Ampère, Gauss, prenaient grand soin, au début d'une théorie physique, de marquer les faits d'expérience sur lesquels ils s'appuyaient, de préciser les hypothèses qu'ils admet-

taient, de définir les grandeurs dont ils parlaient; de là ces préambules, en général si soignés, qui conduisaient pas à pas le lecteur jusqu'à l'équation où la théorie entière se trouve condensée. Ces préambules, on les chercherait presque toujours en vain chez les auteurs anglais; pour eux, l'équation seule vaut; la mise en équation ne les intéresse pas.

En veut-on un exemple frappant?

A l'électrodynamique des corps conducteurs, créée par Ampère, Maxwell a adjoint une électrodynamique nouvelle, l'électrodynamique des corps diélectriques; cette branche de la physique découle de la considération d'un élément essentiellement nouveau, que l'on a nommé, bien improprement d'ailleurs, le *courant de déplacement*; introduit pour compléter la définition de l'état variable d'un diélectrique, état que la connaissance de la polarisation ne détermine pas entièrement, de même que le *courant de conduction* a été adjoint à la charge électrique pour compléter la définition de l'état variable d'un conducteur, le courant de déplacement présente avec le courant de conduction d'étroites analogies en même temps que des différences profondes; grâce à l'intervention de ce nouvel élément, l'électrodynamique est bouleversée; des phénomènes, que l'expérience n'avait pas entrevus, sont annoncés; on voit germer une théorie nouvelle de la propagation des actions électriques dans les milieux non conducteurs, et cette théorie conduit à une interprétation imprévue des phénomènes optiques; sans doute cet élément si nouveau, si étrange, dont l'étude se montre si féconde en conséquences importantes, surprenantes, paradoxales, Maxwell ne le fera figurer dans ses équations qu'après l'avoir défini et analysé avec les plus minutieuses précautions?—Ouvrez le mémoire<sup>(1)</sup> où Maxwell a exposé sa théorie nouvelle du champ électromagnétique, et vous n'y trouverez,

(1) J. Clerk Maxwell. *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS OF LONDON, vol. CLV, p. 480.

pour justifier l'introduction des flux de déplacement dans les équations de l'électrodynamique, que ces deux lignes :

« Les variations du déplacement électrique doivent être ajoutées aux courants pour obtenir le mouvement total de l'électricité. »

Cette absence de toute définition, même lorsqu'il s'agit des éléments les plus nouveaux et les plus importants, nous fait comprendre comment des hommes pour lesquels l'analyse n'a plus de mystère demeurent interdits devant l'œuvre de Maxwell, incapables, dans bien des cas, de dire quelle en est la véritable pensée. Maxwell étudie en elles-mêmes les transformations des équations de l'électrodynamique, sans chercher le plus souvent à voir sous ces transformations la coordination des lois physiques ; il les étudie comme on regarde les mouvements d'un mécanisme ; voilà pourquoi c'est un labeur illusoire de rechercher, sous ces équations, une idée philosophique qui n'y est pas ; voilà dans quel sens on doit, ce me semble, interpréter ce mot de Hermann Hertz (1) : « A cette question : qu'est-ce que la théorie de Maxwell ? je ne saurais donner de réponse à la fois plus courte et plus nette que celle-ci : la théorie de Maxwell, c'est le système des équations de Maxwell. »

## V

Les géomètres français qui ont composé les premières théories de la physique mathématique ont eu une tendance constante à les regarder comme de véritables explications, au sens métaphysique du mot ; à admettre qu'elles saisissaient la réalité même des choses et les véritables causes des phénomènes. Cette tendance, issue de Descartes, perce à chaque instant dans les écrits de Laplace et de Poisson, de Fresnel, de Cauchy et d'Ampère ; parfois, il

(1) Hermann Hertz. *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft*. Einleitende Übersicht, p. 23. Leipzig, 1892.

est vrai, ces auteurs ont comme peur de leur audace, et, pour un moment, ils soupçonnent que leurs théories ne sont peut-être que des représentations et non point des explications ; mais cette pensée prudente, après avoir lui un instant et fait entrevoir à ces grands esprits la véritable portée de la méthode en usage dans les sciences positives, se voile de nouveau et disparaît derrière les nuées qu'amoncèle une confiance superbe et absolue en la toute-puissance de la science moderne.

Cette tendance à voir dans la théorie mathématique une explication métaphysique de l'univers contraste singulièrement avec la tendance des physiciens anglais qui n'y voient jamais qu'un modèle ; même lorsqu'il écrit un mémoire sur la constitution de l'éther ou de la matière, W. Thomson n'oublie jamais qu'il ne saisit pas l'essence des choses, qu'il se borne à construire un appareil capable de simuler certains phénomènes ; cette pensée est sans cesse présente à son esprit ; il y revient à chaque instant.

Cette opposition entre la tendance française et la tendance anglaise se marque par des caractères essentiels et frappants.

Le physicien français de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, du commencement du XIX<sup>e</sup> siècle, pose, au début de toute théorie, un certain nombre d'hypothèses qui, pour lui, définissent les propriétés premières, essentielles, élémentaires de la matière ; puis, de ces hypothèses fondamentales, il cherche à déduire, par une suite logiquement enchaînée de raisonnements précis, l'explication de tous les phénomènes de la physique ; aucun ne doit rester en dehors de la chaîne, car les hypothèses fondamentales sont censées définir toutes les propriétés premières de la matière, d'où découlent, comme les effets de leurs causes, tous les phénomènes que nous observons. De cette méthode sont issus ces majestueux systèmes de la nature qui se proposent de transporter à la physique la forme



de la géométrie d'Euclide ; qui, prenant pour bases un certain nombre de postulats très simples, prétendent en déduire, jusqu'au moindre détail, l'explication du monde matériel ; depuis l'époque où Descartes déroulait l'ample chaîne de ses *Principes de Philosophie*, jusqu'au temps où Poisson, après Laplace, cherchait à réduire le mécanisme du système du monde à l'attraction, tant newtonienne que moléculaire, et à constituer ainsi l'ensemble de la *Mécanique physique*, tel a été le perpétuel idéal du génie français ; en poursuivant cet idéal, il a été élevé des monuments dont les proportions grandioses et les lignes simples ravissent encore l'admiration, aujourd'hui qu'ils branlent sur des fondements sapés de toutes parts.

Cette unité de la théorie, cet enchaînement logique entre toutes les parties qui la constituent, sont des conséquences tellement nécessaires, tellement forcées, de la manière dont les physiciens de l'École française conçoivent une théorie que, pour eux, troubler cette unité ou rompre cet ordre, c'est violer les principes de la logique, c'est commettre une *absurdité*.

Il n'en est nullement de même pour les physiciens anglais.

La théorie mathématique est, pour eux, non pas une explication des lois physiques, mais un modèle de ces lois ; elle est construite non pour la satisfaction de la raison, mais pour le plaisir de l'imagination ; dès lors, la théorie mathématique échappe à la domination de la logique ; il est permis au physicien anglais de construire un modèle pour représenter un groupe de lois et un autre modèle, sans lien avec le précédent, pour représenter un autre groupe de lois, et cela lors même que certaines lois seraient communes aux deux groupes ; pour un géomètre de l'école de Laplace et de Cauchy, il serait absurde de donner d'une même loi deux explications distinctes et de soutenir que ces deux explications sont vraies en même temps ; pour un physicien anglais, il n'y a aucune contra-

diction à ce qu'une même loi soit figurée de deux manières différentes par deux modèles différents. Il y a plus : la complication ainsi introduite dans la science ne le choque pas, car sa faculté imaginative, plus puissante que la nôtre, n'éprouve pas au même degré que la nôtre le désir de la simplicité, le besoin de l'unité ; elle se retrouve sans peine dans des labyrinthes où la nôtre se perdrait.

De là, dans les théories anglaises, ces disparates, ces incohérences, ces contradictions que nous sommes portés à juger sévèrement parce que nous cherchons un système rationnel là où l'auteur ne prétend nous donner qu'une œuvre d'imagination.

En lisant ces conférences de W. Thomson, intitulées *Constitution de la matière*, gardez-vous bien d'y chercher un ensemble de recherches logiquement coordonnées et marquant comment les diverses lois physiques peuvent se déduire d'hypothèses déterminées sur la constitution de la matière ; grande serait votre surprise et plus grande encore votre déception. Ici, la matière nous est présentée comme un ensemble de points matériels isolés et immobiles ; entre ces points s'exercent des attractions, et W. Thomson, après avoir émis l'idée que ces attractions peuvent se réduire à l'action newtonienne, développe l'hypothèse qui les en distingue ; là, les gaz sont un ensemble de petits projectiles animés de vitesses prodigieuses, qui se heurtent dans leur course folle ; plus loin, la molécule matérielle est un ensemble d'enveloppes sphériques, concentriques, reliées par des ressorts ; ailleurs, c'est un système gyrostatique constitué par des tourbillons d'éther. Entre ces diverses théories, aucun essai d'accord ; chacune d'elles se développe isolément, sans souci de celle qui l'a précédée, recouvrant une partie du champ que celle-ci a déjà couvert. Ce sont des tableaux, et l'artiste, en composant chacun d'eux, choisit avec une entière liberté les objets qu'il représentera et l'ordre dans lequel il les groupera ; peu importe si l'un de ses person-

nages a déjà posé, dans une attitude différente, pour un autre tableau ; le logicien serait mal venu de s'en choquer ; une suite de tableaux n'est pas un enchaînement de syllogismes.

Cette incohérence entre les diverses parties d'une théorie n'est pas particulière à W. Thomson ; elle est plus frappante encore dans les écrits de Maxwell :

« Le savant anglais, dit M. H. Poincaré dans une préface devenue célèbre (1), ne cherche pas à construire un édifice unique, définitif et bien ordonné ; il semble plutôt qu'il élève un grand nombre de constructions provisoires et indépendantes, entre lesquelles les communications sont difficiles et parfois impossibles.

» Prenons, comme exemple, le chapitre où l'on explique les attractions électrostatiques par des pressions et des tensions qui régneraient dans le milieu diélectrique. Ce chapitre pourrait être supprimé sans que le reste du volume en devînt moins clair et moins complet, et, d'un autre côté, il contient une théorie qui se suffit à elle-même, et on pourrait le comprendre sans avoir lu une seule des lignes qui précèdent ou qui suivent. Mais il n'est pas seulement indépendant du reste de l'ouvrage ; il est difficile à concilier avec les idées fondamentales du livre, ainsi que le montrera plus loin une discussion approfondie ; Maxwell ne tente même pas cette conciliation ; il se borne à dire (2) : « I have not been able to » make the next step, namely, to account by mechanical » considerations for these stresses in the dielectric. »

» Cet exemple suffira pour faire comprendre ma pensée ; je pourrais en citer beaucoup d'autres ; ainsi, qui se douterait, en lisant les pages consacrées à la polarisation

(1) H. Poincaré. *Électricité et Optique*. I. *Les Théories de Maxwell et la théorie électromagnétique de la lumière*. Introduction, p. viii.

(2) « Je n'ai pas réussi à faire le second pas, à rendre compte par des considérations mécaniques de ces tensions du diélectrique. », Maxwell, *Traité d'électricité et de magnétisme*. Traduction française. Tome I, p. 174.

rotatoire magnétique, qu'il y a identité entre les phénomènes optiques et magnétiques ? »

Sans doute, ce qu'il y a d'exact et de vraiment fécond dans l'œuvre de Maxwell prendra place, un jour, dans un système cohérent et logiquement construit, dans un de ces systèmes où les pensées sont conduites par ordre, à l'image des *Éléments* d'Euclide ou de ces majestueuses théories que déroulaient les créateurs de la physique mathématique ; mais ce n'est assurément pas là ce que cherchait Maxwell ; lorsque M. Boltzmann (1), par exemple, tente de construire un pareil système, nous devons voir dans sa tentative non pas la tâche d'un commentateur scrupuleusement et servilement fidèle du grand physicien, mais le travail du penseur allemand cherchant à transformer en un ensemble logiquement coordonné de théories rationnelles ce qui n'était, dans l'esprit de l'auteur anglais, qu'une suite de modèles, construits pour l'imagination.

Lorsqu'on parcourt l'œuvre d'un grand physicien anglais, de W. Thomson ou de Maxwell ; lorsqu'on voit apparaître ces vues disparates qui se contredisent d'une année à l'autre de sa vie, d'un chapitre à l'autre de son livre, on se prend à songer à ces lois et à ces coutumes innombrables que chaque siècle apporte à la législation anglaise ; lois et coutumes qui contredisent les coutumes et les lois des siècles précédents et qui, cependant, bien loin de les détruire, se superposent à elles, se mêlent et se confondent avec elles ; on est frappé de retrouver, dans la science comme dans la législation, cette incurie logique, devant laquelle l'esprit français, assoiffé de simplicité et d'unité, demeure frappé de stupeur ; en tout ordre de choses, le Français demande un code.

(1) Boltzmann. *Vorlesungen über Maxwell's Theorie der Elektrizität und des Lichtes*, 1<sup>re</sup> Theil, Leipzig, 1891.

## VI

Ici, une digression dont l'objet nous paraît important.

Les géomètres, français pour la plupart, qui ont fondé la physique mathématique, voyaient dans les théories qui constituent cette science l'explication rationnelle, la raison d'être métaphysique des lois découvertes par les expérimentateurs ; dès lors, ces théories, ils les voulaient logiquement enchaînées.

Cette manière de comprendre le rôle des théories de la physique mathématique tend, aujourd'hui, à être abandonnée ; de plus en plus, les physiciens, du moins ceux qui réfléchissent à la portée de la science qu'ils sont chargés de développer et d'enseigner, tendent à voir dans les théories physiques non plus des explications métaphysiques, mais seulement des systèmes représentatifs qui classent et coordonnent les lois physiques ; nous avons développé à plusieurs reprises (1), dans cette *Revue*, les raisons qui doivent, selon nous, faire adopter cette idée.

Or, si nous admettons que les théories de la physique mathématique ne sont pas des systèmes métaphysiques, si nous ne leur attribuons qu'une valeur représentative, si nous ne les considérons que comme des méthodes de classification, pourquoi exigerions-nous encore que toutes ces théories se déduisent avec une rigueur absolue d'un petit nombre de principes nettement énoncés et posés une fois pour toutes ? Pourquoi n'admettrions-nous pas que des groupes distincts de lois soient symbolisés par des théories différentes, les unes reposant sur certaines hypothèses, les autres sur d'autres hypothèses incompatibles avec les premières ? Pourquoi même n'admettrions-nous

(1) P. Duhem. *Quelques réflexions au sujet des théories physiques* (REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, janvier 1892). — *Notation atomique et hypothèses atomistiques* (IBID., avril 1892). — *Une nouvelle théorie du monde inorganique* (IBID., janvier 1893). — *Physique et Métaphysique* (IBID., juillet 1893).

pas à la fois plusieurs théories différentes, inconciliables, pour rendre compte d'un même ensemble de phénomènes ? Pourquoi, en un mot, donnerions-nous la préférence à la rigueur logique des théoriciens français sur l'incohérence logique des physiciens anglais ?

Cette pensée s'est présentée certainement à bien des esprits.

Il en est dont, sans doute, elle séduit le scepticisme ; ceux-là ne sont pas loin de mettre sur la même ligne la méthode suivie par Laplace et Ampère, et la méthode suivie par W. Thomson et Maxwell ; peut-être même inclinent-ils à donner la préférence à cette dernière ; n'est-ce pas cette tendance qui perce dans les lignes suivantes, écrites par M. H. Poincaré (1) ?

« On ne doit donc pas se flatter d'éviter toute contradiction ; mais il faut en prendre son parti. Deux théories contradictoires peuvent, en effet, pourvu qu'on ne les mêle pas, et qu'on n'y cherche pas le fond des choses, être toutes deux d'utiles instruments de recherche, et, peut-être, la lecture de Maxwell serait-elle moins suggestive s'il ne nous avait pas ouvert tant de voies nouvelles divergentes ? »

D'autres, au contraire, ceux qui veulent absolument attribuer aux théories de la physique une valeur ontologique, M. Vicaire (2) par exemple, se plaisent à montrer qu'en regardant les théories physiques comme de pures représentations, on est conduit à regarder comme légitime l'incohérence logique en de pareilles théories ; et ils comptent bien que cette conséquence, qui répugne si violemment au génie français, se retournera en objection contre la pensée dont elle est issue.

Les idées qui sont en train de naître et d'évoluer parmi

(1) H. Poincaré. *Électricité et Optique. I. Les théories de Maxwell et la théorie électromagnétique de la lumière*, Introduction, p. ix.

(2) E. Vicaire. *De la valeur objective des hypothèses physiques*. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, avril 1893.

les physiciens posent donc un important problème ; ce problème, on peut l'énoncer ainsi : *En physique théorique, l'incohérence logique est-elle légitime ?* ou encore, sous une formule plus explicite, de la manière suivante : *Est-il légitime de symboliser, soit plusieurs groupes distincts de lois expérimentales, soit même un groupe unique de lois, au moyen de plusieurs théories dont chacune repose sur des hypothèses inconciliables avec celles qui portent les autres ?*

A cette question, nous n'hésitons pas à répondre, comme nous l'avons déjà fait (1) : SI L'ON S'ASTREINT A N'INVOQUER QUE DES RAISONS DE LOGIQUE PURE, *on ne peut empêcher un physicien de représenter par plusieurs théories inconciliables soit des ensembles divers de lois, soit même un groupe unique de lois ; on ne peut condamner l'incohérence dans le développement de la théorie physique.*

Si l'on admet, en effet, comme nous avons cherché à l'établir, qu'une théorie physique n'est autre chose qu'une classification d'un ensemble de lois expérimentales, comment puiserait-on, dans le code de la logique, le droit de condamner un physicien qui emploierait, pour coordonner des ensembles différents de lois, des procédés de classification différents, ou qui proposerait, pour un même ensemble de lois, diverses classifications issues de méthodes différentes ? La logique interdit-elle aux naturalistes de classer un groupe d'animaux d'après la structure du système nerveux et un autre groupe d'après la structure du système circulatoire ? Un malacologiste sera-t-il absurde s'il expose à la fois la classification de M. Bouvier, qui classe les mollusques d'après la disposition de leurs filets nerveux, et celle de M. Remy Perrier, qui fonde ses comparaisons sur l'étude de l'organe de Bojanus ? Ainsi un physicien aura logiquement le droit de regarder ici la matière comme continue, et là de l'envisager comme formée d'atomes séparés ; d'expliquer les effets capillaires

(1) P. Duhem. *Quelques réflexions au sujet des théories physiques.* § 8. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, janvier 1892.

par des forces attractives s'exerçant entre des particules immobiles, et de douer ces mêmes particules de mouvements rapides pour rendre compte des effets de la chaleur ; tous ces disparates ne violeront pas les principes de la logique.

La logique n'impose évidemment au physicien qu'une seule obligation : c'est de ne pas confondre ses divers procédés de classification ; c'est, lorsqu'il établit entre deux lois un certain rapprochement, de marquer d'une manière précise quelle est celle des méthodes employées par lui qui justifie ce rapprochement ; c'est, en un mot, selon l'expression de M. H. Poincaré, de ne pas mêler deux théories contradictoires.

Nous ne pouvons donc, si nous n'invoquons exclusivement que des raisons d'ordre logique, condamner l'incohérence logique en physique théorique. Mais les raisons d'ordre purement logiques ne sont pas les seules qui dirigent raisonnablement nos jugements ; le principe de contradiction n'est pas le seul auquel il nous soit permis d'avoir recours. Pour que nous rejetions légitimement une méthode, il n'est pas nécessaire qu'elle soit absurde ; il suffit que notre objet, en la rejetant, soit de lui préférer une méthode plus parfaite ; c'est en vertu de ce principe que nous pouvons trancher la difficulté que nous examinons et poser légitimement la règle que voici : *Nous devons, en physique théorique, fuir l'incohérence logique, PARCE QU'ELLE NUIT A LA PERFECTION DE LA SCIENCE.*

Il est meilleur, il est plus parfait, de coordonner un ensemble de lois expérimentales au moyen d'une théorie unique, dont toutes les parties, logiquement enchaînées, découlent dans un ordre irréprochable d'un certain nombre d'hypothèses fondamentales posées une fois pour toutes, que d'invoquer, pour classer ces mêmes lois, un grand nombre de théories inconciliables reposant les unes sur certaines hypothèses, les autres sur d'autres hypothèses contredisant les précédentes. C'est une vérité que tout



le monde admet sans qu'il soit besoin de la commenter ; ceux mêmes, comme les physiciens anglais ou leurs imitateurs, qui acceptent le plus volontiers des théories contradictoires pour rendre compte de lois différentes, leur préfèrent cependant une théorie unique lorsqu'ils aperçoivent aisément le moyen de la construire ; cette vérité nous fournit un exemple de ces principes clairs et évidents par eux-mêmes sur lesquels repose, comme nous l'avons exposé ailleurs (1), l'emploi de la méthode expérimentale.

Mais bien que cette vérité soit si claire et si évidente que tout physicien en fait usage sans hésiter au cours de ses recherches, il n'en résulte pas que le métaphysicien n'ait pas à en rendre compte, non certes pour en accroître la clarté, qui est complète, ou la certitude, qui est intuitive, mais pour nous faire saisir les relations de ce principe avec les autres principes qui guident notre raison et pour désarmer le scepticisme s'il songeait à miner ce fondement de la physique théorique.

Pourquoi donc une théorie physique cohérente est-elle, même aux yeux de celui qui n'attribue pas aux théories physiques la valeur d'explications métaphysiques, plus parfaite qu'un ensemble incohérent de théories incompatibles ?

Nous devons évidemment juger le degré de perfection d'une théorie physique à la conformité plus ou moins grande qu'offre cette théorie avec la théorie idéale et parfaite ; or, cette théorie idéale et parfaite, nous l'avons définie ailleurs : ce serait l'explication métaphysique totale et adéquate de la nature des choses matérielles ; cette théorie, en effet, classerait les lois physiques dans un ordre qui serait l'expression même des rapports métaphysiques qu'ont entre elles les essences dont émanent ces lois ; elle nous donnerait, au sens propre du mot, la *classification naturelle* des lois.

(1) P. Duhem. *Physique et métaphysique*. III. *La physique repose sur des principes évidents de soi et en dehors de toute considération métaphysique*. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, juillet 1893.

Une telle théorie, comme tout ce qui est parfait, surpasse infiniment la portée de l'esprit humain; les théories que nos méthodes nous permettent de construire n'en sont qu'un pâle reflet; la méthode métaphysique ne nous donne sur l'essence des choses matérielles que des renseignements trop généraux, trop peu détaillés, trop peu nombreux, pour qu'ils nous puissent servir à classer les lois physiques; la méthode expérimentale, la seule à laquelle nous puissions avoir recours pour cet objet, ne saisissant pas l'essence des choses, mais seulement les phénomènes par lesquels les choses se manifestent à nous, ne nous permet pas de rapprocher les lois les unes des autres, sinon par des analogies extérieures, superficielles, qui traduisent, en les trahissant bien souvent peut-être, les véritables affinités des essences dont ces lois émanent.

Mais quelque imparfaites que soient nos théories physiques, elles peuvent et doivent tendre au parfait; sans doute elles ne seront jamais qu'une classification, constatant des analogies entre des lois, mais ne saisissant pas de relations entre les essences; toutefois, nous pouvons et nous devons chercher à les établir de manière qu'il y ait quelque probabilité pour que les analogies mises par elles en lumière soient non pas des rapprochements accidentels, mais de véritables relations, manifestant les rapports qui existent réellement entre les essences; nous pouvons et nous devons, en un mot, chercher à rendre ces classifications aussi peu *artificielles*, aussi *naturelles* que possible.

Or, si nous savons peu de chose sur les relations qu'ont entre elles les substances matérielles, il est du moins deux vérités dont nous sommes assurés: c'est que ces relations ne sont ni indéterminées, ni contradictoires; donc, toutes les fois que la physique nous proposera deux théories inconciliables d'un même ensemble de lois, ou encore toutes les fois qu'elle symbolisera un ensemble de

lois au moyen de certaines hypothèses et un autre ensemble de lois au moyen d'autres hypothèses incompatibles avec les précédentes, nous sommes assurés que la classification qu'une telle physique nous propose n'est pas conforme à l'ordre naturel des lois, à l'ordre dans lequel les rangerait une intelligence qui voit les essences; en faisant disparaître les incohérences de la théorie, nous aurons quelque chance de la rapprocher de cet ordre, de la rendre plus naturelle et, partant, plus parfaite.

## VII

Revenons à l'étude des marques qui distinguent les physiciens de l'École anglaise.

Le besoin d'enchaîner logiquement ses déductions, de conduire par ordre ses pensées, porte le physicien français ou allemand à être prudent et même timoré. Il ne veut souffrir, dans ses théories, ni contradiction, ni lacune; dès lors, toute proposition dont la liaison avec les principes admis n'est pas claire et évidente, tout ce qui est étrange, tout ce qui est surprenant, lui semble, par le fait même, devoir être révoqué en doute.

Il en est tout autrement de l'Anglais; l'étrange ne l'effraie pas; la surprise, chez lui, n'engendre pas le doute; il semble au contraire rechercher, dans le domaine de la science, tout ce qui est imprévu, tout ce qui est audacieux.

Tandis que le physicien français et surtout le physicien allemand, lorsqu'ils ont découvert une loi nouvelle, aiment à la relier aux principes admis, à montrer qu'elle en découle naturellement, l'Anglais, au contraire, se complait à donner une tournure paradoxale même aux conséquences logiques des théories les plus universellement acceptées; cette tendance est très sensible dans les diverses applications que W. Thomson a faites des prin-

cipes de la thermodynamique; elle apparaît surtout très clairement lorsqu'on compare les mémoires qu'il a consacrés à ces questions à ceux que Clausius a écrits sur les mêmes sujets.

L'esprit prudent des physiciens du continent se marque surtout dans l'hésitation avec laquelle ils abordent certaines questions situées aux confins de la science : la constitution intime du monde matériel, ce qu'il était il y a des millions de siècles, ce qu'il sera dans des millions de siècles ; ces questions si vastes, si complexes, si troublantes, nous ne pouvons les voir résoudre sans qu'un frisson de scepticisme nous fasse tressaillir. L'Anglais ignore ces craintes : grandeur et distance des atomes, constitution de la matière, nature de la lumière et de l'électricité, dissipation de l'énergie, origine et durée de la chaleur solaire, voilà les problèmes qui attirent W. Thomson, Maxwell, Tait; leur vigoureuse imagination s'y déploie à l'aise en bonds audacieux que n'entravent pas les liens de la rigueur logique; elle se complait à jouer avec des nombres effrayants de grandeur ou de petitesse, comme l'athlète se complait aux prodigieux exercices qui lui donnent conscience de la vigueur de ses muscles.

Chez les chefs de l'École anglaise, chez W. Thomson, chez Maxwell, cette tendance à traiter les choses étranges et troublantes connaît des bornes; elle n'en connaît plus chez leurs disciples; communication de la pensée à distance, spiritisme, magie, convulsions de l'imagination moderne que la raison ne tient plus en équilibre, W. Crookes, O. Lodge, Tait, acceptent tout cela; ils traitent ces questions avec la même confiance, la même tranquillité qu'une question d'optique ou d'électricité; pour eux, l'in-vraisemblable a toute chance d'être vrai.

Cette témérité de l'esprit anglais présente de grands dangers à la science, qui n'est plus en garde contre l'extravagance; elle a, par contre, ses avantages; elle favorise à un haut degré l'invention.

Notre besoin de ne rien admettre qui ne se déduise clairement des principes reçus nous rend méfiants à l'égard de toute découverte inattendue ; de ce besoin découle l'esprit routinier, hostile aux nouveautés, si souvent reproché aux savants du continent et aux académies qu'ils composent. Cette crainte de l'imprévu, ennemie née du génie inventif, l'inventeur la trouve non seulement autour de lui, mais encore en lui ; sa raison même se refuse à admettre l'exactitude de la pensée neuve qui germe en lui, tant qu'elle n'a pas analysé cette pensée et qu'elle ne l'a fait entrer dans un système de déductions logiquement enchaînées. On s'explique ainsi que les inventions écloses sur le continent ne soient ni aussi nombreuses, ni surtout aussi audacieuses que les inventions nées en Angleterre ou en Amérique ; que les inventeurs ne soient pas, en Angleterre et en Amérique, aux prises avec les mêmes difficultés, en butte aux mêmes hostilités, qu'en France ou en Allemagne.

En Angleterre, l'inventeur trouve en lui et autour de lui des conditions qui assurent à sa pensée un libre développement et un accueil favorable ; il en est de même du conférencier.

Chez ceux qui ont peu étudié la science, l'imagination prime la raison ; la solidité des principes, la rigueur des déductions, les intéressent moins que l'audace et l'étrangeté des conséquences ; le conférencier doit donc s'adresser à l'imagination de son auditoire et non à sa raison ; c'est là ce qui rend le savant français peu apte au rôle de conférencier ; il ne peut se résoudre à énoncer des propositions sans lien logique, et lorsque son auditoire n'est pas en état de saisir le lien réel qui unit ces propositions, il préfère en établir un qui soit faux et artificiel que de n'en pas établir du tout ; il est d'ailleurs poussé par son auditoire même, qui exige qu'on lui prouve tout ce qu'on lui énonce, qu'on lui explique tout ce qu'on lui montre, bien qu'il soit incapable de saisir les preuves et de suivre les explications ; de là, le manque de sincérité, les procédés

en quelque sorte charlatanesques qu'adopte facilement, chez nous, la conférence ; de là, le mépris que la plupart des savants sérieux affichent pour ce genre d'enseignement.

Le savant anglais, au contraire, a, avec son auditoire, de grandes affinités ; comme son auditoire, il a la faculté imaginative plus développée que la faculté déductive ; il n'éprouve pas le besoin d'enchaîner des syllogismes ; des faits, abondants, vivants, compliqués s'il le faut, mais, autant que possible, étranges, imprévus, voilà le domaine où se complaît son intelligence ; voilà aussi ce qui est le plus propre à capter ses auditeurs, qui demandent à voir plutôt qu'à comprendre ; ainsi s'explique le succès des conférences de Tait, de W. Thomson, le prodigieux triomphe des leçons de Tyndall.

## VIII

Je ne connais pas de sujet de réflexion plus propre à faire saisir les caractères de la science anglaise que la comparaison de l'œuvre de W. Thomson à celle d'Helmholtz. Entre ces deux génies, les rapprochements abondent : même précocité, dont les coups d'essai sont des coups de maître ; même fécondité, que quarante-cinq ans de production scientifique continue n'ont pas épuisée ; même étendue de pensée, qui embrasse sans peine les sujets les plus divers et les traite avec une égale originalité ; même renommée, que les compatriotes de ces deux savants citent avec orgueil, que les princes sanctionnent par des titres de noblesse, que toute l'Europe salue de ses suffrages. Et cependant, pour celui qui médite en lisant leurs travaux, quelles différences, quel contraste, entre W. Thomson et H. Helmholtz ! L'un est, dans sa plénitude, l'intelligence anglaise ; l'autre, l'intelligence allemande.

Ce qui frappe, au premier abord, dans l'œuvre d'Helm-

holtz, c'est la puissance logique qui donne à cette œuvre une si majestueuse unité, une si ample généralité. Dès le premier travail d'Helmholtz, dès ce mémoire *Sur la conservation de la force* qui fut, dans la science, comme le manifeste d'où jaillit une révolution, les grandes lignes de cette œuvre sont tracées ; puis, avec un esprit de suite dont la science offre peu d'exemples, Helmholtz reprend chacun des sujets qu'il a esquissés, il en précise les contours, l'élargit, le creuse, et de ce qui semblait n'être qu'une remarque, il fait surgir toute une branche de la science. Suivez le développement d'un seul de ces sujets, de l'électrodynamique ; au début, dans l'*Erhaltung der Kraft*, quelques pages seulement lui sont consacrées ; l'idée première du potentiel électrodynamique, une vue sur les relations entre les actions électrodynamiques et le principe de la conservation de l'énergie, voilà les graines semées par Helmholtz ; contemplez maintenant l'arbre dans son développement ; l'idée du potentiel électrodynamique est devenue le tronc vigoureux d'où sortent, comme autant de maîtresses branches, la théorie de l'induction, les lois des forces qui s'exercent entre les courants, les propriétés des corps diélectriques et des corps magnétiques ; l'aperçu sur le lien que le principe de la conservation de l'énergie établit entre les forces pondéromotrices et les forces électromotrices a engendré ces prodigieux mémoires *sur le rôle du principe de la moindre action en physique*, qui rejoint l'électrodynamique à la mécanique, à la thermodynamique, à l'optique ; et ainsi s'élève, comme un chêne robuste, cette synthèse qui semble avoir absorbé, élaboré, et fait fructifier tout ce qu'il y avait de vivace dans l'œuvre électrodynamique de W. Weber, de F. E. Neumann, de Maxwell, de Kirchhoff et de C. Neumann.

Puissance de généralisation qui développe, force logique qui ramène tout à l'unité, ce n'est pas encore là tout le génie d'Helmholtz ; à ces deux qualités, qu'il

possède à un degré éminent, il en faut encore joindre une troisième : la pénétration d'analyse qui dissèque et réduit à leurs derniers éléments, à leurs irréductibles principes, les questions qui lui sont soumises ; de là ces profondes recherches sur les fondements de la géométrie et ces méditations, si satisfaisantes pour l'esprit, sur l'origine des axiomes de l'arithmétique ; c'est cette puissance d'analyse qui explique l'unité et l'ampleur des théories d'Helmholtz ; si le chêne est inébranlable, si ses branches sont robustes, si son feuillage touffu couvre de son ombre une vaste prairie, c'est que ses racines pénètrent profondément dans le sol, lui assurant la fermeté du point d'appui et l'abondance des sucres nourriciers,

Quel contraste avec l'œuvre de Thomson ! L'unité, la généralité, la profondeur des théories d'Helmholtz ont disparu pour faire place à une infinie variété de vues brillantes, ingénieuses, parfois géniales, dont chacune se développe pour son propre compte et sans souci des autres ; ce n'est plus un chêne que nous avons devant les yeux, c'est une gerbe de fleurs aux mille formes, aux mille couleurs, dont les tiges s'enchevêtrent sans se souder. Helmholtz, avec prudence, sonde sans cesse le terrain sur lequel il bâtit, assure la solidité des fondements de son édifice ; Thomson, moins soucieux de la rigueur des principes, va jusqu'aux conséquences les plus éloignées, les plus hardies, parfois les plus téméraires et les plus hasardées ; partant de la physique, Helmholtz remonte par l'analyse, de principe en principe, jusqu'à rencontrer la métaphysique ; Thomson descend, de conséquence en conséquence, jusqu'aux applications industrielles ; le premier est un des plus profonds philosophes de notre siècle ; le second en est un des ingénieurs les plus inventifs.



## IX

Lorsqu'on affirme devant certaines personnes qu'il existe une manière *anglaise* de concevoir la science physique, très différente de la manière française ou de la manière allemande, on les voit s'étonner ; la science n'est-elle pas essentiellement internationale ? M. Poincaré nous peint la surprise d'un lecteur français ouvrant le traité de Maxwell. « Qu'entend-il par un lecteur français ? s'écrie M. Joseph Bertrand (1). Pourquoi supposer qu'un Anglais ou un Allemand serait moins choqué par le manque de rigueur ? Deux siècles ont-ils suffi pour changer l'esprit des nations, et les descendants de Newton acceptent-ils aujourd'hui l'imagination en physique, pour laisser aux compatriotes de Descartes le respect de la rigueur et l'amour de la précision ? »

Il est hors de contestation que la logique est une ; que ses principes s'imposent, avec la même inéluctable rigueur, à un Français, à un Anglais et à un Allemand ; que les condamnations qu'elle prononce s'étendent à toutes les contrées et qu'aucun lieu d'asile ne peut protéger celui qui les encourt ; mais si la loi logique est la même en tous les temps et dans tous les pays, si partout et toujours ceux qui la respectent sont tenus de raisonner de la même manière, il y a, en revanche, une infinité de façons de lui désobéir, de pécher contre elle, et ces violations de la loi logique subissent l'influence de l'époque et du milieu où elles sont commises ; la vérité, impersonnelle, ne porte pas la marque des circonstances dans lesquelles elle a été découverte ; l'erreur, œuvre de l'homme, résulte de ses habitudes, de ses préjugés, des idées qui l'entourent, des ignorances au milieu desquelles il vit ; elle varie avec ces conditions et s'explique par elles. De même la loi morale

(1) Joseph Bertrand. *Journal des Savants*, décembre 1891, p. 743.

est identique en deçà et au delà des Pyrénées ; mais les violations de cette loi, mais l'ensemble des actes immoraux présentent-ils les mêmes caractères généraux en France et en Espagne ? ne subissent-ils pas l'influence des races et des milieux ?

Dans le domaine scientifique, ce n'est pas seulement l'erreur qui porte la marque spéciale du peuple au sein duquel une doctrine a germé et grandi ; la recherche théorique, nous l'avons dit souvent et nous ne saurions trop le répéter, n'est pas tout entière, en chacune de ses parties, en chacune des opérations dont elle se compose, soumise aux lois inflexibles de la logique ; certaines des opérations élémentaires qui la constituent, par exemple le choix des hypothèses sur lesquelles repose chaque théorie, échappent en bien des sens aux prises de ces lois ; là où la logique ne trace pas au physicien une voie dont il ne peut s'écarter, la tournure spéciale de son esprit, ses facultés dominantes, les doctrines répandues dans son entourage, la tradition de ses prédécesseurs, les habitudes qu'il a prises, l'éducation qu'il a reçue vont lui servir de guides, et toutes ces influences se retrouveront dans la forme prise par la théorie qu'il concevra. On comprend donc sans peine qu'une théorie scientifique puisse porter la marque du temps et du lieu qui l'ont vu naître, que l'œuvre de Maxwell ou de Thomson soit une œuvre essentiellement anglaise et qu'elle étonne un Français ou un Allemand.

Ce que nous venons de dire explique pourquoi l'influence de la race à laquelle appartient l'auteur d'une théorie, du milieu dans lequel il vit, de l'époque qui l'a vu travailler, se fait sentir bien plus dans les parties erronées ou simplement hypothétiques de la théorie, que dans les parties auxquelles leur forme logique donne une plus grande certitude.

Du reste, on peut faire une remarque analogue dans tous les cas où l'on cherche à préciser l'influence que la

race et le milieu exercent sur une œuvre humaine ; ce qui, dans cette œuvre, est soumis à cette influence, ce sont surtout les défauts, ce par quoi elle participe des préjugés et des ignorances du commun des hommes ; ce qui, au contraire, échappe à cette influence, c'est ce par quoi cette œuvre est vraiment originale, ce par quoi l'auteur se distingue de ses ancêtres et ses contemporains, ce qu'anime le souffle de l'esprit ; car, sans souci des milieux et des races, des barrières physiques et des frontières politiques, l'esprit souffle où il veut.

# QUELQUES RÉFLEXIONS

AU SUJET

## DE LA PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE

---

### PREMIÈRE PARTIE

#### QU'EST-CE QU'UNE EXPÉRIENCE DE PHYSIQUE ?

*I. Une expérience de physique n'est pas simplement l'observation d'un phénomène; elle est, en outre, l'interprétation théorique de ce phénomène.*

Qu'est-ce qu'une expérience de physique? Voilà une question qui étonnera sans doute plus d'un lecteur de la *Revue des questions scientifiques*; est-il besoin de la poser et la réponse n'est-elle pas évidente? Produire un phénomène physique dans des conditions telles qu'on puisse l'observer exactement et minutieusement, au moyen d'instruments appropriés, n'est-ce pas l'opération que tout le monde désigne par ces mots : une expérience de physique?

Entrez dans ce laboratoire; approchez-vous de cette table qu'encombrent une foule d'appareils : une pile électrique, des fils de cuivre entourés de soie, des godets

pleins de mercure, des bobines, un barreau de fer qui porte un miroir ; un observateur enfonce dans de petits trous la tige métallique d'une fiche dont la tête est en ébonite ; le fer oscille et, par le miroir qui lui est lié, renvoie sur une règle en celluloïde une bande lumineuse dont l'observateur suit les mouvements ; voilà bien, sans doute, une expérience : ce physicien observe minutieusement les oscillations du morceau de fer. Demandez-lui maintenant ce qu'il fait ; va-t-il vous répondre : « j'étudie les oscillations du barreau de fer qui porte ce miroir ? » Non ; il vous répondra qu'il mesure la résistance électrique d'une bobine ; si vous vous étonnez, si vous lui demandez quel sens ont ces mots et quel rapport ils ont avec les phénomènes qu'il a constatés, que vous avez constatés en même temps que lui, il vous répliquera que votre question nécessiterait de trop longues explications et vous enverra suivre un cours d'électricité.

C'est qu'en effet l'expérience que vous avez vu faire, comme toute expérience de physique, comporte deux parties : elle consiste, en premier lieu, dans l'observation de certains phénomènes ; pour faire cette observation, il suffit d'être attentif et d'avoir les sens suffisamment déliés ; il n'est pas nécessaire de savoir la physique ; elle consiste, en second lieu, dans l'*interprétation* des faits observés ; pour pouvoir faire cette interprétation, il ne suffit pas d'avoir l'attention en éveil et l'œil exercé ; il faut connaître les théories admises ; il faut savoir les appliquer, il faut être physicien. Tout homme peut, s'il voit clair, suivre les mouvements d'une tache lumineuse sur une règle transparente, voir si elle marche à droite ou à gauche, si elle s'arrête en tel ou tel point ; il n'a pas besoin, pour cela, d'être grand clerc ; mais s'il ignore l'électrodynamique, il ne pourra achever l'expérience ; il ne pourra mesurer la résistance de la bobine.

Prenons un autre exemple. Regnault étudie la compressibilité des gaz ; il prend une certaine quantité de

gaz; il l'enferme dans un tube de verre; il maintient la température constante; il mesure la pression que supporte le gaz et le volume qu'il occupe. Voilà, dira-t-on, l'observation minutieuse et précise de certains phénomènes, de certains faits. Assurément, devant Regnault, entre ses mains, entre les mains de ses aides, des faits se sont produits; est-ce le récit de ces faits que Regnault a consignés pour contribuer à l'avancement de la physique? Non. Dans un viseur, Regnault a vu l'image d'une certaine surface de mercure affleurer à un certain trait; est-ce là ce qu'il a inscrit dans la relation de ses expériences? Non, il a inscrit que le gaz occupait un volume ayant telle valeur. Un aide a élevé et abaissé la lunette d'un cathétomètre jusqu'à ce que l'image d'un autre niveau de mercure vînt affleurer le fil d'un réticule; il a alors observé la disposition de certains traits sur le vernier du cathétomètre; est-ce là ce que nous trouvons dans le mémoire de Regnault? Non, nous y lisons que la pression supportée par le gaz avait telle valeur. Un autre aide a vu, dans un thermomètre, le mercure affleurer à un certain trait invariable; est-ce là ce qui a été consigné? Non, on a marqué que la température était fixe et atteignait tel degré. Or qu'est-ce que la valeur du volume occupé par le gaz, qu'est-ce que la valeur de la pression qu'il supporte, qu'est-ce que le degré de température auquel il est porté? Sont-ce des faits? Non, ce sont trois abstractions.

Pour former la première de ces abstractions, la valeur du volume occupé par le gaz, et la faire correspondre au fait observé, c'est-à-dire à l'affleurement du mercure en un certain trait, il a fallu jauger le tube, c'est-à-dire faire appel non seulement aux notions abstraites de l'arithmétique et de la géométrie, aux principes abstraits sur lesquels reposent ces sciences, mais encore à la notion abstraite de masse, aux hypothèses de mécanique générale et de mécanique céleste qui justifient l'emploi de la balance dans la comparaison des masses. Pour former la seconde, la

valeur de la pression supportée par le gaz, il a fallu user des notions si profondes, si difficiles à acquérir de pression, de force de liaison, appeler en aide les lois mathématiques de l'hydrostatique; fondées elles-mêmes sur les principes de la mécanique générale; faire intervenir la loi de compressibilité du mercure dont la détermination se relie aux questions les plus délicates et les plus controversées de la théorie de l'élasticité. Pour former la troisième, il a fallu définir la température, justifier l'emploi du thermomètre; et tous ceux qui ont étudié avec quelque soin les principes de la physique savent combien la notion de température est éloignée des faits et difficile à saisir.

Ainsi, lorsque Regnault faisait une expérience, il avait des faits devant les yeux, il observait des phénomènes; mais ce qu'il nous a transmis de cette expérience, ce n'est pas le récit des faits observés; ce sont des données abstraites que les théories admises lui ont permis de substituer aux documents concrets qu'il avait réellement recueillis.

Ce que Regnault a fait, c'est ce que fait nécessairement tout physicien expérimentateur; voilà pourquoi nous pouvons énoncer ce principe, dont la présente étude développera les conséquences :

*Une expérience de physique est l'observation précise d'un groupe de phénomènes, accompagnée de l'INTERPRÉTATION de ces phénomènes; cette interprétation substitue aux données concrètes réellement recueillies par l'observation des représentations abstraites et symboliques qui leur correspondent en vertu des théories physiques admises par l'observateur.*

II. *Ce genre d'expérience caractérise les sciences arrivées à la phase dite rationnelle.*

En déclarant que l'interprétation des faits au moyen des théories admises par l'observateur fait partie intégrante d'une expérience de physique, qu'il est impossible, dans une

telle expérience, de dissocier, de séparer la constatation des faits et la transformation que la théorie leur fait subir, nous allons peut-être scandaliser plus d'un esprit soucieux de la rigueur scientifique ; plus d'un va nous objecter les règles cent fois tracées par les philosophes et les observateurs, de Bacon à Claude Bernard, du *Novum organum* à l'*Introduction à la médecine expérimentale*. Que la théorie suggère des expériences à réaliser, rien de mieux ; une fois l'expérience faite et les résultats nettement constatés, qu'elle s'en empare pour les généraliser, les coordonner, en tirer de nouveaux sujets d'expérience, rien de mieux encore ; mais tant que dure l'expérience, la théorie doit demeurer à la porte du laboratoire ; elle doit garder le silence et laisser, sans le troubler, le savant face à face avec les faits ; ceux-ci doivent être observés sans idée préconçue, recueillis avec la même impartialité minutieuse, soit qu'ils confirment les prévisions de la théorie, soit qu'ils les contredisent ; la relation que l'observateur nous donnera de son expérience doit être un décalque fidèle et scrupuleusement exact des phénomènes ; elle ne doit pas même nous laisser deviner quel est le système en lequel le savant a confiance, quel est celui dont il se méfie.

Cette règle est bonne pour certaines sciences — pour celles où il est possible de l'appliquer.

Voici, par exemple, un physiologiste ; il admet que les racines antérieures de la moelle épinière renferment les cordons moteurs et les racines postérieures les cordons sensitifs ; la théorie qu'il accepte l'amène à imaginer une expérience ; s'il coupe telle racine antérieure, il doit supprimer la motilité de telle partie du corps sans en abolir la sensibilité ; lorsque après avoir sectionné cette racine, il observe les résultats, lorsqu'il en rend compte, il doit évidemment faire abstraction de toutes ses idées touchant la physiologie de la moelle ; sa relation doit être un décalque brutal des faits ; il ne lui est pas permis de passer sous silence un mouvement, un tressaillement contraire



à ses prévisions; il ne lui est pas permis de l'attribuer à quelque cause secondaire, à moins qu'une expérience spéciale n'ait mis cette cause en évidence; il doit, s'il ne veut être accusé de mauvaise foi scientifique, établir une séparation absolue, une cloison étanche, entre les conséquences de ses déductions théoriques et les résultats de ses expériences.

Cette méthode convient aux sciences encore voisines de leur origine, comme la physiologie, comme certaines branches de la chimie, aux sciences où le chercheur observe directement les faits, où il raisonne immédiatement sur les faits observés; elle n'est pas applicable aux sciences plus avancées, à la physique, par exemple, aux sciences arrivées à cet état de développement où l'instrument mathématique joue un rôle essentiel, à cette phase que les savants du commencement du siècle ont caractérisée, assez improprement d'ailleurs, par les épithètes d'*analytique* ou de *rationnelle*.

Le nombre et la complication des faits d'expérience, la multitude des lois qui constituent la physique, formeraient aujourd'hui un inextricable chaos, si l'esprit humain n'avait trouvé un moyen de débrouiller cette masse énorme de documents, de les classer, de les traduire en un langage clair et concis; ce moyen lui est fourni par l'emploi des théories physiques. Nous avons expliqué ailleurs (1) comment ces théories substituent aux propriétés des corps dont les variations constituent les phénomènes physiques, aux lois expérimentales qui régissent ces phénomènes, une sorte de représentation symbolique, de schéma, formé d'éléments empruntés à l'algèbre et à la géométrie; les théories physiques sont le vocabulaire qui fait correspondre à chaque propriété physique une grandeur, à chaque loi physique une équation.

(1) *Quelques réflexions au sujet des théories physiques*. REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. 2<sup>me</sup> série, t. I, 1892. — *Physique et métaphysique*. IBID., t. II, 1893. — *L'École anglaise et les théories physiques*. IBID., t. II, 1893.

L'usage de ce vocabulaire est à ce point indispensable au physicien qu'il lui serait impossible sans lui d'énoncer la moindre loi, de rapporter la moindre observation. Prenez une expérience quelconque, par exemple l'expérience de Regnault dont nous parlions tout à l'heure; essayez de l'exposer en chassant de votre langage toutes les expressions abstraites introduites par les théories physiques, les mots : pression, température, densité, axe optique d'une lunette, coefficient de dilatation, etc. ; vous vous apercevrez que la relation de cette seule expérience exigerait un volume, dont l'inextricable confusion dérouterait la raison la plus attentive ; ou plutôt, vous vous apercevrez que la tentative est irréalisable ; de même qu'un français, habitué à sa langue maternelle, ne peut concevoir une pensée sans l'énoncer au même moment en français, de même un physicien ne conçoit plus un fait d'expérience sans lui faire correspondre aussitôt l'expression abstraite, schématique, qu'en donne la théorie ; voilà pourquoi il dit qu'il mesure la pression d'un gaz, alors qu'au travers d'un tube portant des verres arrondis il regarde une tache noire sur un fond blanc ; voilà pourquoi il déclare qu'il détermine la résistance électrique d'une bobine, alors qu'il met des fiches de cuivre dans de petits trous et qu'il regarde une bande lumineuse se promener sur une règle de corne ; prétendre séparer l'observation d'un phénomène physique de toute théorie, se vanter d'avoir écrit un mémoire *purement expérimental* de physique, c'est une tentative illusoire ; autant vaudrait essayer d'énoncer une idée sans employer aucun signe, parlé ou écrit.

A dire vrai, le physicien n'est pas le seul qui fasse appel aux théories pour énoncer le résultat de ses expériences ; le chimiste, le physiologiste, lorsqu'ils font usage des instruments de physique, du thermomètre, du manomètre, du calorimètre, du galvanomètre, admettent implicitement l'exactitude des théories qui justifient l'emploi de

ces appareils, des théories qui donnent un sens aux notions abstraites de pression, de température, de quantité de chaleur, d'intensité de courant, par lesquelles on remplace les indications concrètes de ces instruments. Mais les théories dont ils font usage, comme les instruments qu'ils emploient, sont du domaine de la physique; en acceptant, avec les instruments, les théories sans lesquelles leurs indications seraient dénuées de sens, c'est au physicien que le chimiste et le physiologiste donnent leur confiance, c'est le physicien qu'ils supposent infail-  
lible. Le physicien, au contraire, est obligé de se fier à ses propres idées théoriques ou à celles de ses semblables. Au point de vue logique, la différence est de peu d'importance; pour le physiologiste, pour le chimiste, comme pour le physicien, l'énoncé du résultat d'une expérience implique, en général, un acte de foi en l'exactitude de tout un ensemble de théories.

Il y a plus; au fur et à mesure qu'une science progresse, qu'elle s'éloigne de la simple connaissance empirique, de la constatation des lois les plus grossières, le rôle joué par la théorie dans l'interprétation des faits d'expérience va grandissant; lorsqu'une science commence, lorsqu'elle n'est en quelque sorte que le sens commun rendu plus attentif, la relation des faits d'expérience qu'elle constate est un décalque exact de la réalité observée; la physiologie, dans plusieurs de ses parties, nous offre l'image d'une science à cet état; puis, au fur et à mesure qu'elle progresse, l'épaisseur des considérations théoriques qui sépare le fait concret, réellement constaté par l'observateur, et la traduction abstraite, symbolique, qu'il en donne, devient plus considérable; prenez, par exemple, la chimie dans son état actuel; prenez, en particulier, celle de ses branches dont le développement est le plus parfait, la chimie des composés du carbone, la chimie organique; quelle différence entre un fait d'expérience et l'interprétation théorique, la traduction symbolique qu'en

donne le chimiste ! Mesurez la distance qui sépare cet énoncé : l'expérience nous apprend qu'en substituant à un H de la benzine le groupe acide CO-OH, on obtient de l'acide benzoïque, des observations concrètes, réellement faites, qu'il représente, et vous comprendrez que plus une science progresse, plus la traduction symbolique qu'elle substitue aux faits d'expérience est abstraite et éloignée des faits.

III. *Qu'une expérience de physique ne peut jamais condamner une hypothèse isolée, mais seulement tout un ensemble théorique.*

Le physicien qui rend compte d'une expérience reconnaît implicitement l'exactitude de tout un ensemble de théories ; admettons ce principe et voyons quelles conséquences on en peut déduire lorsqu'on cherche à apprécier le rôle et la portée logique d'une expérience de physique.

Pour éviter toute confusion, nous distinguerons deux sortes d'expériences : les expériences d'*application* et les expériences d'*épreuve*.

Vous êtes en présence d'un problème de physique à résoudre pratiquement ; pour produire tel ou tel effet, vous voulez faire usage des connaissances acquises par les physiciens ; vous voulez, par exemple, allumer une lampe électrique à incandescence ; les théories admises vous indiquent le moyen de résoudre le problème ; mais, pour faire usage de ce moyen, vous devez vous procurer certains renseignements ; vous devez, je suppose, déterminer la force électromotrice de la pile dont vous disposez ; vous mesurez cette force électromotrice ; voilà une *expérience d'application* ; cette expérience n'a pas pour but de reconnaître si les théories admises sont ou ne sont pas exactes ; elle se propose simplement de tirer parti de ces théories ; pour l'effectuer, vous faites usage d'instruments que légitiment ces mêmes théories ; il n'y a là rien qui choque la logique.

Mais les expériences d'application ne sont pas les seules que le physicien ait à faire ; c'est par elles seulement que la science peut aider la pratique ; ce n'est point par elles que la science se crée et se développe ; à côté des expériences d'application, il y a les *expériences d'épreuve*.

Un physicien conteste telle loi, il révoque en doute tel point de théorie ; comment justifiera-t-il ses doutes ? comment démontrera-t-il l'inexactitude de la loi ? De la proposition incriminée, il fera sortir la prévision d'un fait d'expérience ; il réalisera les conditions dans lesquelles ce fait doit se produire ; si le fait ne se produit pas, la proposition sera irrémédiablement condamnée.

M. F. E. Neumann a admis que, dans un rayon de lumière polarisée, la vibration était parallèle au plan de polarisation ; beaucoup de physiciens ont révoqué cette proposition en doute ; comment M. O. Wiener s'y est-il pris pour transformer ce doute en négation certaine, pour condamner la proposition de M. Neumann ? Il a déduit de cette proposition la conséquence que voici : si l'on fait interférer un faisceau lumineux réfléchi sur une lame de verre avec le faisceau incident polarisé perpendiculairement au plan d'incidence, il doit se produire des franges parallèles à la surface réfléchissante ; il a réalisé les conditions dans lesquelles ces franges devaient se produire, et montré que les franges prévues ne se produisaient pas ; il en a conclu que la proposition de M. F. E. Neumann était fausse ; que, dans un rayon de lumière polarisée, la vibration n'est pas parallèle au plan de polarisation.

Un pareil mode de démonstration semble aussi convaincant, aussi irréfutable que la réduction à l'absurde usuelle aux mathématiciens ; c'est, du reste, sur cette réduction à l'absurde que cette démonstration est calquée, la contradiction expérimentale jouant dans l'une le rôle que la contradiction logique joue dans l'autre.

En réalité, il s'en faut bien que la valeur démonstrative de la méthode expérimentale soit aussi rigoureuse, aussi

absolue ; les conditions dans lesquelles elle fonctionne sont beaucoup plus compliquées que nous ne l'avons supposé ; l'appréciation de ses résultats est beaucoup plus délicate et sujette à caution.

Un physicien se propose de démontrer l'inexactitude d'une proposition ; pour déduire de cette proposition la prévision d'un phénomène, pour instituer l'expérience qui doit montrer si ce phénomène se produit ou ne se produit pas, pour interpréter les résultats de cette expérience et constater que le phénomène prévu ne s'est pas produit, il ne se borne pas à faire usage de la proposition en litige ; il emploie encore tout un ensemble de théories, admises par lui sans conteste ; la prévision du phénomène dont la non production doit trancher le débat ne découle pas de la proposition litigieuse prise isolément, mais de la proposition litigieuse jointe à tout cet ensemble de théories ; si le phénomène prévu ne se produit pas, ce n'est pas la proposition litigieuse seule qui est mise en défaut, c'est tout l'échafaudage théorique dont le physicien a fait usage ; la seule chose que nous apprenne l'expérience, c'est que parmi toutes les propositions qui ont servi à prévoir ce phénomène et à constater qu'il ne se produisait pas, il y a au moins une erreur ; mais où git cette erreur, c'est ce qu'elle ne nous dit pas ; le physicien déclare-t-il que cette erreur est précisément contenue dans la proposition qu'il voulait réfuter et non pas ailleurs ? c'est qu'il admet implicitement l'exactitude de toutes les autres propositions dont il a fait usage ; tant vaut cette confiance, tant vaut sa conclusion.

Preñons, par exemple, l'expérience de M. O. Wiener ; pour prévoir la formation de franges dans certaines circonstances, pour montrer que ces franges ne se produisaient pas, M. O. Wiener n'a pas seulement fait usage de la proposition célèbre de M. Neumann, de la proposition qu'il voulait réfuter ; il n'a pas seulement admis que, dans un rayon polarisé, les vibrations étaient parallèles au plan de

polarisation ; il s'est servi, en outre, des propositions, des lois, des hypothèses, qui constituent l'optique communément acceptée ; il a admis que la lumière consistait en vibrations périodiques simples ; qu'en chaque point, la force vive moyenne du mouvement vibratoire mesurait l'intensité lumineuse ; que l'attaque d'une pellicule photographique marquait les divers degrés de cette intensité, c'est en joignant ces diverses propositions, et bien d'autres qu'il serait trop long d'énumérer, à celle de M. Neumann, qu'il a pu formuler une prévision et reconnaître que l'expérience démentait cette prévision ; si, selon M. Wiener, le démenti s'adresse à la seule proposition de M. Neumann, si, seule, elle doit porter la responsabilité de l'erreur que ce démenti a mise en évidence, c'est que M. Wiener regarde comme hors de doute les autres propositions par lui invoquées. Mais cette confiance ne s'impose pas de nécessité logique ; rien n'empêche de regarder comme exacte la proposition de M. Neumann et de faire porter la contradiction expérimentale sur quelque autre hypothèse de l'optique communément admise ; on peut fort bien, comme l'a montré M. Poincaré, arracher l'hypothèse de M. Neumann aux prises de l'expérience de M. Wiener, mais à la condition de lui abandonner en échange l'hypothèse qui prend la force vive moyenne du mouvement vibratoire pour mesure de l'intensité lumineuse ; on peut, sans être contredit par l'expérience, laisser la vibration parallèle au plan de polarisation, pourvu que l'on mesure l'intensité lumineuse par l'énergie potentielle moyenne du milieu que déforme le mouvement vibratoire.

Ces principes ont une telle importance qu'il ne sera peut-être pas inutile de les appliquer à un second exemple ; choisissons encore une expérience regardée comme une des plus décisives de l'optique.

On sait que Newton a imaginé une théorie des phénomènes optiques, la théorie de l'émission ; il supposait la lumière formée de projectiles excessivement ténus, lancés

avec une extrême vitesse par le soleil et les autres sources lumineuses ; ces projectiles pénètrent tous les corps ; ils subissent, de la part des diverses parties des corps au sein desquels ils se meuvent, des actions attractives ou répulsives ; très puissantes lorsque la distance qui sépare les particules agissantes est toute petite, ces actions s'évanouissent lorsque les masses entre lesquelles elles s'exercent s'écartent sensiblement ; ces hypothèses essentielles, jointes à plusieurs autres que nous passons sous silence, conduisent à formuler une théorie complète de la réflexion et de la réfraction de la lumière ; en particulier, elles entraînent cette conséquence : l'indice de réfraction de la lumière passant d'un milieu dans un autre est égal à la vitesse du projectile lumineux dans le milieu où il entre divisée par sa vitesse dans le milieu d'où il sort.

C'est cette conséquence qu'Arago a choisie pour mettre la théorie de l'émission en contradiction avec les faits ; de cette proposition, en effet, découle cette autre : la lumière marche plus vite dans l'eau que dans l'air ; que l'on compare, par un procédé qu'Arago a indiqué, que Foucault a rendu applicable, d'impraticable qu'il était, la vitesse de la lumière dans l'eau à la vitesse de la lumière dans l'air ; on trouvera la première plus petite que la seconde ; on pourra alors conclure avec Foucault que le système de l'émission est incompatible avec la réalité des faits.

Je dis le *système* de l'émission et non l'*hypothèse* de l'émission ; en effet, ce que l'expérience déclare entaché d'erreur, c'est tout l'ensemble des propositions admises par Newton, et après lui par Laplace, par Biot ; c'est la théorie tout entière dont se déduit la relation entre l'indice de réfraction et la vitesse de la lumière dans les divers milieux ; mais en condamnant en bloc ce système, en déclarant qu'il est entaché d'erreur, l'expérience ne nous dit pas où gît cette erreur ; est-ce en l'hypothèse fondamentale que la lumière consiste en projectiles lancés avec une grande vitesse par les corps lumineux ? est-ce en quelque



autre supposition touchant les actions que les corpuscules lumineux subissent de la part des milieux au sein desquels ils se meuvent ? Nous n'en savons rien. Il serait téméraire de croire, comme Arago semble l'avoir pensé, que l'expérience de Foucault condamne sans retour l'hypothèse même de l'émission, l'assimilation d'un rayon de lumière à un essaim de projectiles ; qui sait si nous ne verrons pas un jour surgir une optique nouvelle fondée sur cette supposition ?

En résumé, le physicien ne peut jamais soumettre au contrôle de l'expérience une hypothèse isolée, mais seulement tout un ensemble d'hypothèses ; lorsque l'expérience est en désaccord avec ses prévisions, elle lui apprend que l'une au moins des hypothèses qui constituent cet ensemble est erronée et doit être modifiée ; mais elle ne lui désigne pas celle qui doit être changée.

Nous voici bien loin du mécanisme expérimental tel que l'imaginent volontiers les personnes étrangères à son fonctionnement. On pense communément que chacune des hypothèses dont la physique fait usage peut être prise isolément, soumise au contrôle de l'expérience, puis, lorsque des épreuves variées et multipliées en ont constaté la valeur, mise en place d'une manière presque définitive dans l'ensemble de la science. En réalité, il n'en est pas ainsi ; la physique n'est pas une machine qui se laisse démonter ; on ne peut pas essayer chaque pièce isolément, et attendre, pour l'ajuster, que la solidité en ait été minutieusement contrôlée ; la science physique, c'est un organisme que l'on doit prendre tout entier ; c'est un organisme dont on ne peut faire fonctionner une partie sans que les parties les plus éloignées de celle-là entrent en jeu, les unes plus, les autres moins, toutes à quelque degré ; si quelque gêne, quelque malaise se révèle dans son fonctionnement, le physicien sera obligé de deviner quel est l'organe qui a besoin d'être redressé ou modifié, sans qu'il lui soit possible d'isoler cet organe et de l'examiner à part ; l'horloger

auquel on donne une montre qui ne marche pas en sépare tous les rouages et les examine un à un, jusqu'à ce qu'il ait trouvé celui qui est faussé ou brisé; le médecin auquel on présente un malade ne peut le disséquer pour établir son diagnostic; il doit deviner le siège du mal par la seule inspection des effets produits sur le corps entier; c'est à celui-ci, non à celui-là, que ressemble le physicien chargé de redresser une théorie boiteuse.

#### IV. *L'experimentum crucis est impossible en physique.*

Insistons encore, car nous touchons à l'un des points essentiels de la méthode expérimentale employée en physique.

La réduction à l'absurde, qui semble n'être qu'un instrument de réfutation, peut devenir une méthode de démonstration; pour démontrer qu'une proposition est vraie, il suffit d'acculer à une conséquence absurde celui qui admettrait la proposition contradictoire de celle-là; on sait le parti que les géomètres grecs ont tiré de ce mode de preuve.

Ceux qui assimilent la contradiction expérimentale à la réduction à l'absurde pensent que l'on peut, en physique, suivre une méthode semblable à celle dont Euclide a fait usage en géométrie. Voulez-vous obtenir d'un groupe de phénomènes une explication théorique certaine, incontestable? Énumérez toutes les hypothèses que l'on peut faire pour rendre compte de ce groupe de phénomènes; puis, par la contradiction expérimentale, éliminez-les toutes, sauf une; cette dernière cessera d'être une hypothèse pour devenir une certitude. Supposez, en particulier, que deux hypothèses seulement soient en présence; cherchez des conditions expérimentales telles que l'une des hypothèses annonce la production d'un phénomène et l'autre la production d'un phénomène tout différent; réalisez ces conditions et observez ce qui se passe; selon que vous observerez

le premier des phénomènes prévus ou le second, vous condamnerez la seconde hypothèse ou la première ; celle qui ne sera pas condamnée sera désormais incontestable ; le débat sera tranché, une vérité nouvelle sera acquise à la physique. — Tel est l'*experimentum crucis*.

Deux hypothèses sont en présence touchant la nature de la lumière ; pour Newton, pour Laplace et Biot, la lumière consiste en projectiles lancés avec une extrême vitesse ; pour Huygens, pour Young, pour Fresnel, la lumière consiste en vibrations dont les ondes se propagent dans un milieu élastique ; ces deux hypothèses sont les seules dont on entrevoie la possibilité ; ou bien le mouvement est emporté par le corps qu'il anime, ou bien il passe d'un corps à un autre ; suivez la première hypothèse ; elle vous annonce que la lumière marche plus vite dans l'eau que dans l'air ; suivez la seconde ; elle vous annonce que la lumière marche plus vite dans l'air que dans l'eau ; montez l'appareil de Foucault ; mettez en mouvement le miroir tournant ; deux taches lumineuses vont se former, l'une blanche, l'autre verdâtre ; la bande verdâtre est-elle à gauche de la bande blanche ? c'est que la lumière marche plus vite dans l'eau que dans l'air ; c'est que l'hypothèse des ondulations est fausse ; la bande verdâtre est-elle à droite de la bande blanche ? c'est que la lumière marche moins vite dans l'eau que dans l'air ; c'est que l'hypothèse de l'émission est condamnée ; vous comparez la position des deux bandes ; vous voyez la bande verdâtre à droite de la bande blanche ; le débat est jugé : la lumière n'est pas un corps ; c'est un mouvement vibratoire dont les ondes se propagent dans un milieu élastique ; l'hypothèse de l'émission a vécu ; l'hypothèse des ondulations a cessé d'être douteuse ; elle est un nouvel article du *Credo* scientifique.

Ce que nous avons dit au paragraphe précédent montre combien on se tromperait en attribuant à l'expérience de Foucault une signification aussi simple et une portée aussi

décisive ; ce n'est pas entre deux hypothèses, l'hypothèse de l'émission et l'hypothèse des ondulations, que tranche l'expérience de Foucault ; c'est entre deux ensembles théoriques, chacun pris en bloc, entre deux systèmes, entre l'optique de Newton et l'optique d'Huygens.

Mais admettons pour un instant que, dans chacun de ces deux systèmes, tout soit forcé, tout soit nécessaire de nécessité logique, sauf une seule hypothèse ; admettons, par conséquent, que les faits, en condamnant l'un des deux systèmes, condamnent à coup sûr la seule supposition douteuse qu'il renferme ; en résulte-t-il que l'on puisse trouver dans l'*experimentum crucis* un moyen irréfutable de transformer en vérité certaine l'une des deux hypothèses en présence, de même que la réduction d'un théorème à l'absurde assure la vérité du théorème contradictoire ? Entre deux propositions contradictoires de géométrie, il n'y a pas place pour un troisième jugement ; si l'une est fausse, l'autre est nécessairement vraie ; en est-il de même de deux hypothèses de physique ? Oserons-nous jamais affirmer qu'aucune autre hypothèse n'est imaginable ? La lumière peut être un essaim de projectiles ; elle peut être un mouvement vibratoire dont un milieu élastique propage les ondes ; ne peut-elle être que l'une ou l'autre de ces deux choses ? Arago le pensait peut-être, mais il nous serait difficile de partager sa conviction depuis que Maxwell a proposé d'attribuer la lumière à des courants électriques périodiques transmis au sein d'un milieu diélectrique.

La méthode expérimentale ne peut transformer une hypothèse physique en une vérité incontestable, car on n'est jamais sûr d'avoir épuisé toutes les hypothèses imaginables touchant un groupe de phénomènes ; l'*experimentum crucis* est impossible ; la vérité d'une théorie physique ne se décide pas à croix ou pile.

*V. Conséquences des principes précédents touchant l'enseignement de la physique.*

On imagine, en général, que chaque hypothèse de physique peut être séparée de l'ensemble et soumise isolément au contrôle de l'expérience; naturellement, de ce principe erroné, on déduit des conséquences fausses touchant la méthode suivant laquelle la physique doit être enseignée; on voudrait que le professeur range toutes les hypothèses de la physique dans un certain ordre; qu'il prenne la première, qu'il en donne l'énoncé, qu'il en expose les vérifications expérimentales, puis, lorsque ces vérifications auront été reconnues suffisantes, qu'il déclare l'hypothèse acceptée; il recommencerait la même opération sur la seconde, sur la troisième, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la physique soit entièrement constituée; la physique s'enseignerait comme s'enseigne la géométrie; les hypothèses se suivraient comme se suivent les théorèmes; la preuve expérimentale de chaque supposition remplacerait la démonstration de chaque proposition; on n'avancerait rien qui ne soit aussitôt justifié par les faits; tel est l'idéal que se proposent beaucoup de professeurs, que plusieurs peut-être pensent avoir atteint.

Cet idéal est une idée fausse; cette manière de concevoir l'enseignement de la physique découle d'une conception erronée de la science expérimentale; si l'interprétation de la moindre expérience de physique suppose l'emploi de tout un ensemble de théories, si la description même de cette expérience exige une foule d'expressions abstraites, symboliques, dont les théories seules fixent le sens et la correspondance avec les faits, il faudra bien que le physicien se résolve à développer une longue chaîne d'hypothèses et de déductions avant de tenter la moindre comparaison entre l'édifice théorique et la réalité concrète; encore devra-t-il bien souvent, en décrivant les expériences qui vérifient les théories déjà développées, anticiper sur les théories à venir. Il ne pourra, par exemple,

tenter la moindre vérification expérimentale des principes de la dynamique avant d'avoir non seulement développé l'enchaînement des propositions de la mécanique générale, mais encore jeté les bases de la mécanique céleste ; encore devra-t-il, en rapportant les observations qui vérifient cet ensemble de théories, supposer connues les lois de l'optique qui, seules, justifient l'emploi des instruments astronomiques.

Que le professeur développe donc, en premier lieu, les théories essentielles de la science ; sans doute, en exposant les hypothèses sur lesquelles reposent ces théories, il est bon qu'il signale les données du sens commun, les faits recueillis par l'expérience vulgaire, qui ont conduit à formuler ces hypothèses ; mais qu'il proclame bien haut que ces faits, suffisants pour suggérer les hypothèses, ne le sont pas pour les vérifier ; c'est seulement après qu'il aura constitué un corps étendu de doctrine, après qu'il aura constitué une théorie complète, qu'il pourra comparer à l'expérience les conséquences de cette théorie.

L'enseignement doit faire saisir à l'élève cette vérité capitale : les vérifications expérimentales ne sont pas la base de la théorie, elles en sont le couronnement ; la physique ne progresse pas comme la géométrie ; celle-ci grandit par le continuel apport d'un nouveau théorème, démontré une fois pour toutes, qui s'ajoute à des théorèmes déjà démontrés ; celle-là est un tableau symbolique auquel de continuelles retouches donnent de plus en plus d'étendue et d'unité ; dont l'*ensemble* forme une image de plus en plus précise de l'*ensemble* des faits d'expérience, tandis que chaque détail de cette image, découpé et isolé du tout, perd toute signification et ne représente plus rien.

VI. *Que le résultat d'une expérience de physique est un jugement abstrait et symbolique.*

Toute expérience de physique comprend essentiellement, outre la constatation d'un phénomène ou d'un

groupe de phénomènes, une interprétation qui met en jeu tout un ensemble de théories admises par l'observateur ; cette interprétation a pour but de remplacer les faits concrets réellement observés par des représentations abstraites et symboliques. De la première partie de ce principe, nous avons déduit quelques conséquences ; examinons maintenant la seconde partie.

Que le résultat des opérations auxquelles se livre un expérimentateur soit non pas un fait, mais un symbole abstrait, c'est ce qui saute aux yeux de quiconque réfléchit. Ouvrez un mémoire quelconque de physique expérimentale et lisez-en les conclusions ; ces conclusions ne sont nullement le récit de certains faits ; ce sont des énoncés abstraits auxquels vous ne pourrez attacher aucun sens, si vous ne connaissez pas les théories physiques admises par l'auteur ; vous y lisez, par exemple, que la force électromotrice de telle pile augmente de tant de volts lorsque la pression supportée par la pile augmente de tant de kilogrammes par centimètre carré ; que signifie cet énoncé ? Celui qui ignore la physique et pour qui cet énoncé demeure lettre morte pourrait être tenté d'y voir une simple manière d'exprimer en un langage technique, insaisissable aux profanes, mais clair aux initiés, un fait constaté par l'observateur ; ce serait une erreur. Il est bien vrai que l'initié, que celui qui possède les théories de la physique, peut traduire cet énoncé en faits, peut réaliser l'expérience dont le résultat est ainsi exprimé ; mais, chose remarquable, il peut la réaliser d'une infinité de manières différentes ; il peut exercer la pression en versant du mercure dans un tube de verre, en faisant manœuvrer une presse hydraulique ; il peut mesurer cette pression avec un manomètre à air libre, avec un manomètre à air comprimé, avec un manomètre métallique ; pour apprécier la variation de la force électromotrice, il pourra employer successivement tous les types d'électromètres, de galvanomètres, d'électrodynamomètres ; cha-

que nouvelle disposition d'appareils lui fournira des faits nouveaux à constater ; il pourra employer des dispositions d'appareils que l'auteur du mémoire n'aura pas soupçonnées et voir des phénomènes que cet auteur n'aura jamais vus ; cependant toutes ces manipulations, si diverses qu'un profane n'apercevrait entre elles aucune analogie, ne sont pas des expériences différentes ; elles sont seulement des formes différentes d'une même expérience ; les faits qui se sont produits sont aussi dissemblables que possible ; cependant la constatation de ces faits s'exprime par cet énoncé unique : la force électromotrice de telle pile augmente de tant de volts lorsque la pression augmente de tant de kilogrammes par centimètre carré.

Cet énoncé, on le voit, n'est pas le récit, fait dans un langage technique et abrégé, de certains faits observés ; il est la transposition de ces faits dans le monde abstrait et schématique créé par les théories physiques ; dans ce monde où l'instrument qui est devant moi n'est plus un assemblage de pièces de cuivre vissées, de fils métalliques recouverts de soie et enroulés sur un cadre, d'une petite pièce d'acier suspendue à un fil de cocon, mais une *boussole des tangentes*, c'est-à-dire une circonférence de cercle parcourue par un courant, au centre de laquelle se trouve un élément magnétique ; où une pile n'est plus un vase en grès ou en verre, rempli de certains liquides, où baignent certains solides, mais un être de raison, symbolisé par de certaines formules chimiques, une certaine force électromotrice, une certaine résistance.

#### VII. *De l'approximation dans les expériences de physique.*

Entre un symbole abstrait et un fait, il peut y avoir correspondance, il ne peut y avoir entière parité ; le symbole abstrait ne peut être la représentation adéquate du fait concret, le fait concret ne peut être la réalisation du symbole abstrait ; le schéma abstrait par lequel un



physicien exprime les faits concrets qu'il a constatés au cours d'une expérience ne peut être l'exact équivalent, la relation fidèle de ses constatations.

Il en résulte, nous l'avons vu, que des faits concrets très différents peuvent se fondre les uns dans les autres lorsqu'ils sont interprétés par la théorie, ne plus constituer qu'une même expérience et s'exprimer par un énoncé symbolique unique. Il en résulte inversement, nous l'allons voir, qu'à un même ensemble de faits concrets on peut faire correspondre, en général, non pas un seul jugement symbolique, mais une infinité de jugements différents les uns des autres et logiquement incompatibles entre eux.

Pour constater les phénomènes qui se produisent dans une expérience de physique, nous n'avons pas d'autre moyen que de recourir au témoignage de nos sens, de la vue, de l'ouïe ou du toucher; quelque compliqués, quelque parfaits que soient les instruments employés, leur usage se ramène, en dernière analyse, à des constatations de nos sens. Or, nos sens, c'est une vérité de sens commun, ont une sensibilité bornée; ce qui tombe au-dessous d'une certaine limite de petitesse leur échappe. Le langage ordinaire, moulé sur les données des sens, laisse aux mots un certain vague qui traduit les incertitudes de nos perceptions.

Il n'en est plus de même de la langue symbolique créée par les théories physiques. Grâce à l'emploi des notions mathématiques, cette langue s'exprime en jugements susceptibles d'une rigueur et d'une précision illimitées. Aussi ne peut-il y avoir équivalence exacte entre un fait constaté par les sens avec l'indécision que comporte une semblable constatation, et un jugement théorique énoncé sous une forme mathématique qui exclut toute ambiguïté; pour traduire en son langage l'incertitude qu'entraîne la sensibilité limitée de nos perceptions, la théorie remplace le récit d'un groupe de faits non par un jugement

abstrait unique, mais par une infinité de jugements entre lesquels elle nous laisse la liberté de choisir ; ou, plutôt, entre lesquels nous ne devons pas choisir, mais que nous devons accepter tous ensemble ; ces jugements sont différents les uns des autres, inconciliables entre eux ; au point de vue de la logique mathématique, l'un ne peut être vrai sans que les autres soient faux ; mais prenez l'une, prenez l'autre de ces propositions théoriques ; appliquez-leur les théories admises pour en déduire des conséquences que les instruments usités en physique vous permettront de traduire en faits sensibles ; les sens ne pourront pas distinguer entre les conséquences déduites de l'une et les conséquences déduites de l'autre ; voilà pourquoi, tandis que les mathématiques regardent ces deux propositions comme s'excluant l'une l'autre, la physique les regarde comme identiques.

C'est cette vérité essentielle pour l'intelligence de la méthode expérimentale, c'est la correspondance d'un même groupe de faits à une infinité de propositions théoriques différentes, que l'on exprime en énonçant cette proposition : les résultats d'une expérience de physique ne sont qu'*approchés* ; fixer l'approximation que comporte l'expérience, c'est marquer l'indétermination de la proposition abstraite et symbolique par laquelle le physicien remplace les faits concrets qu'il a réellement observés, c'est préciser les limites que cette indétermination ne doit pas franchir.

Éclaircissons ces principes généraux par un exemple.

Un expérimentateur a fait certaines observations ; il les a traduites par cet énoncé : une augmentation de pression de cent atmosphères fait croître la force électromotrice d'une pile à gaz de  $0^{\text{volt}},0845$  ; il pourra tout aussi légitimement dire qu'elle fait croître cette force électromotrice de  $0^{\text{volt}},0844$ , ou encore qu'elle la fait croître de  $0^{\text{volt}},0846$  ; comment ces diverses propositions peuvent-elles être équivalentes pour le physicien ? Car, si un nombre est 845,

il ne peut être en même temps 844, non plus que 846. Voici ce que le physicien entend en déclarant ces trois jugements identiques à ses yeux : si, prenant pour point de départ la valeur  $0^{\text{volt}},0845$  pour la diminution de la force électromotrice, il calcule au moyen des théories admises la déviation de l'aiguille de son galvanomètre, c'est-à-dire le seul fait que ses sens puissent constater, il trouvera à cette déviation une certaine valeur ; s'il répète le même calcul en prenant pour point de départ la valeur  $0^{\text{volt}},0846$  ou la valeur  $0^{\text{volt}},0844$  de la diminution de la force électromotrice, il trouvera d'autres valeurs pour la déviation de l'aimant ; mais les trois déviations ainsi calculées différeront trop peu pour que la vue puisse les discerner ; voilà pourquoi le physicien ne distinguera pas ces trois évaluations de l'accroissement de la force électromotrice,  $0^{\text{volt}},0844$ ,  $0^{\text{volt}},0845$ ,  $0^{\text{volt}},0846$ , tandis que le mathématicien les regarderait comme incompatibles entre elles.

Supposons que toutes les valeurs de la diminution de la force électromotrice comprises entre  $0^{\text{volt}},0840$  et  $0^{\text{volt}},0850$  conduisent, au moyen de calculs fondés sur les théories admises, à des conséquences que ne sauraient distinguer les lectures faites sur l'instrument dont se sert le physicien ; le physicien ne pourra pas dire que cet accroissement est égal à  $0^{\text{volt}},0845$ , mais seulement qu'il est l'un des nombres compris entre  $0^{\text{volt}},0840$  et  $0^{\text{volt}},0850$  ; ou, plutôt, que cet accroissement peut être indifféremment représenté par n'importe lequel de ces nombres ; cette infinité d'évaluations possibles, il nous les donnera toutes à la fois, en écrivant par exemple que cent atmosphères font croître la force électromotrice de la pile de  $(0^{\text{volt}},0845 \pm 0,0005)$ .

Le degré d'approximation d'une expérience dépend de deux éléments essentiels : la nature et la perfection de l'instrument employé et l'interprétation théorique des expériences.

Que le degré d'approximation d'une expérience dépende de l'instrument employé à la réalisation de l'expérience, c'est ce que montrent bien clairement les explications qui précèdent. Voici deux jugements abstraits distincts ; demandons aux théories admises quelles conséquences entraînent ces deux jugements lorsqu'on les applique à un premier instrument, quelles conséquences ils entraînent lorsqu'on les applique à un second instrument ; ces deux jugements pourront se traduire en l'un des instruments par deux faits différents, mais que les sens ne pourront distinguer l'un de l'autre, et en l'autre instrument par des faits que les sens distingueront sans peine ; équivalents pour le physicien qui fait usage du premier appareil, ces deux jugements ne le seront plus pour le physicien qui se sert du second. Cette vérité est trop claire pour qu'il soit nécessaire d'insister.

Mais l'instrument n'est pas le seul élément dont le perfectionnement accroisse la précision d'une expérience ; on peut encore accroître cette précision en perfectionnant l'interprétation théorique, en éliminant les *causes d'erreur* par des *corrections* appropriées ; c'est ce qui nous reste à expliquer.

#### VIII. *Des corrections et des causes d'erreur dans les expériences de physique.*

Au fur et à mesure que la physique se perfectionne, on voit se resserrer l'indétermination du groupe de jugements abstraits que le physicien fait correspondre à un fait concret ; l'approximation des résultats expérimentaux va croissant, non seulement parce que les constructeurs fournissent des instruments de plus en plus précis, mais aussi parce que les théories physiques donnent, pour établir la correspondance entre les faits et les idées schématiques qui servent à les représenter, des règles de plus en plus satisfaisantes ; cette précision croissante s'achète, il est vrai, par une complication croissante, par l'obligation

d'observer, en même temps que le fait principal, une série de faits accessoires, par la nécessité de soumettre les constatations brutes de l'expérience à des manipulations, à des transformations de plus en plus nombreuses et délicates; ces transformations que l'on fait subir aux données immédiates de l'expérience, ce sont les *corrections*.

Si l'expérience de physique était la simple constatation d'un fait, il serait absurde d'y apporter des corrections; lorsque l'observateur aurait regardé minutieusement, soigneusement, il ne lui resterait plus qu'à dire : voilà ce que j'ai vu ; on serait mal fondé à lui répondre : vous avez vu telle chose, mais ce n'est pas ce que vous auriez dû voir ; permettez-moi de faire quelques calculs qui vous enseigneront ce que vous auriez dû voir.

Le rôle logique des corrections se comprend au contraire fort bien lorsqu'on se souvient qu'une expérience de physique est la constatation d'un ensemble de faits, suivie de la traduction de ces faits en un jugement symbolique, au moyen de règles empruntées aux théories physiques.

Devant le physicien est un instrument, un ensemble de corps concrets ; c'est cet instrument qu'il manipule ; c'est sur cet instrument qu'il fait les constatations sensibles, les *lectures*, bases de l'expérience ; ce n'est pas sur cet instrument qu'il raisonne pour interpréter l'expérience ; il raisonne sur un instrument schématique, qui n'est plus un assemblage de corps concrets, mais un ensemble de notions mathématiques, qui est formé de solides parfaits ou de fluides parfaits, ayant une certaine densité, une certaine température, soumis en chaque point à une certaine force représentée par une grandeur géométrique.

Cet instrument schématique n'est pas et ne peut pas être l'équivalent exact de l'instrument réel ; mais on conçoit qu'il en puisse donner une image plus ou moins parfaite ; on conçoit qu'après avoir raisonné sur un instrument schématique trop simple et trop éloigné de la réalité, le

physicien cherche à lui substituer un schéma plus compliqué, mais plus ressemblant; ce passage d'un instrument schématique à un autre qui symbolise mieux l'instrument concret, c'est essentiellement l'opération que désigne, en physique, le mot *correction*.

Un aide de Regnault lui donne la hauteur d'une colonne de mercure contenue dans un manomètre; Regnault la corrige; est-ce qu'il soupçonne son aide d'avoir mal vu, de s'être trompé? Non; il a pleine confiance dans les lectures qui ont été faites; s'il n'avait pas cette confiance, il ne pourrait pas corriger l'expérience; il ne pourrait que la recommencer; si donc, à cette hauteur lue par son aide, Regnault en substitue une autre, c'est en vertu de raisonnements destinés à rendre moins disparates entre eux le manomètre abstrait, idéal, qui n'existe qu'en son esprit et auquel se rapportent ses calculs, et le manomètre concret, en verre et en mercure, qui est devant ses yeux et sur lequel son aide fait des lectures; Regnault pourrait représenter ce manomètre réel par un manomètre idéal formé de mercure incompressible, ayant partout la même température, soumis en tout point de sa surface libre à une pression atmosphérique indépendante de la hauteur; entre ce schéma trop simple et la réalité, le disparate serait trop grand, et, partant, la précision de l'expérience serait insuffisante; alors il conçoit un nouveau manomètre idéal, plus compliqué que le premier, mais représentant mieux le manomètre réel et concret; il suppose ce nouveau manomètre formé d'un fluide compressible, il suppose que la température varie d'un point à l'autre, il admet que la pression barométrique change lorsqu'on s'élève dans l'atmosphère; ces retouches au schéma primitif constituent autant de corrections: correction relative à la compressibilité du mercure, correction relative à l'inégal échauffement de la colonne mercurielle, correction de Laplace relative à la hauteur barométrique; toutes ces corrections ont pour effet d'accroître la précision de l'expérience. Le

physicien qui, par des corrections, complique la représentation théorique des faits observés pour permettre à cette représentation de serrer de plus près la réalité, est semblable à l'artiste qui, après avoir achevé un dessin au trait, y ajoute des ombres, pour mieux exprimer sur une surface plane le relief du modèle.

Celui qui ne verrait dans les expériences de physique que des constatations de faits ne comprendrait pas le rôle joué, dans ces expériences, par les corrections; il ne comprendrait pas davantage ce qu'on entend en parlant des *causes d'erreur* que comporte une expérience.

Laisser subsister une cause d'erreur dans une expérience, c'est omettre une correction qui pourrait être faite et qui accroîtrait la précision de l'expérience; c'est se contenter d'une représentation théorique trop simple, alors que l'on pourrait lui substituer une image plus compliquée, mais plus parfaite, de la réalité; c'est se contenter d'une esquisse au trait alors que l'on pourrait faire un dessin achevé.

Dans ses expériences sur la compressibilité des gaz, Regnault avait laissé subsister une cause d'erreur qu'il n'avait pas aperçue et qui a été signalée depuis; il avait négligé l'action de la pesanteur sur le gaz soumis à la compression; qu'entend-on dire en reprochant à Regnault de n'avoir pas tenu compte de cette action, d'avoir omis cette correction? Veut-on dire que ses sens l'ont trompé dans l'observation des phénomènes produits devant lui? Nullement; on lui reproche d'avoir trop simplifié l'image théorique de ces faits en se représentant comme un fluide homogène le gaz soumis à la compression, alors qu'en le regardant comme un fluide dont la densité varie avec la hauteur suivant une certaine loi, il aurait obtenu une nouvelle image abstraite, plus compliquée que la première, mais reproduisant mieux la réalité.

*IX. De la critique d'une expérience de physique ; en quoi elle diffère de l'examen d'un témoignage ordinaire.*

Une expérience de physique étant tout autre chose que la simple constatation d'un fait, on conçoit sans peine que la vérité, que la certitude d'un résultat d'expérience soient choses d'un tout autre ordre que la vérité, que la certitude d'un fait constaté ; que ces certitudes de nature si différente s'apprécient par des méthodes entièrement distinctes.

Lorsqu'un témoin sincère, assez sain d'esprit pour ne pas prendre les jeux de son imagination pour des perceptions, connaissant la langue dont il se sert assez bien pour exprimer clairement sa pensée, affirme avoir constaté un fait, le fait est certain ; si je vous déclare que tel jour, à telle heure, dans telle rue de la ville, j'ai vu un cheval blanc, à moins d'avoir des raisons pour me considérer comme un menteur ou comme un halluciné, vous devez croire que ce jour-là, à cette heure-là, dans cette rue-là, il y avait un cheval blanc.

La confiance qui doit être accordée à la proposition énoncée par un physicien comme résultat d'une expérience n'est pas de la même nature ; si le physicien se bornait à nous conter les faits qu'il a vus, de ses yeux vus, ce qui s'appelle vu, son témoignage devrait être examiné suivant les règles générales propres à fixer le degré de confiance que mérite le témoignage d'un homme ; si le physicien était reconnu digne de foi — et ce serait, je pense, le cas général — son témoignage devrait être reçu comme l'expression de la vérité.

Mais, encore une fois, ce que le physicien énonce comme le résultat d'une expérience, ce n'est pas le récit des faits constatés ; c'est l'interprétation de ces faits, c'est leur transposition dans le monde abstrait, symbolique, créé par les théories qu'il regarde comme établies.

Donc, après avoir soumis le témoignage du physicien aux règles qui fixent le degré de confiance mérité par le



récit d'un témoin, vous n'aurez accompli qu'une partie, et la partie la plus facile, de la critique de son expérience.

Il vous faut, en premier lieu, vous enquérir avec grand soin des théories qu'il regarde comme établies et qu'il a employées à l'interprétation des faits par lui constatés; faute de connaître ces théories, il vous serait impossible de saisir le sens qu'il attribue à ses propres énoncés; ce physicien serait devant vous comme un témoin devant un juge qui n'entendrait pas sa langue.

Si les théories admises par ce physicien sont celles que vous acceptez, si vous êtes convenus de suivre les mêmes règles dans l'interprétation des mêmes phénomènes, vous parlez la même langue et vous pouvez vous entendre. Mais il n'en est pas toujours ainsi; il n'en est pas ainsi lorsque vous discutez les expériences d'un physicien qui n'appartient pas à la même école que vous; il n'en est pas ainsi, surtout, lorsque vous discutez les expériences d'un physicien que cinquante ans, qu'un siècle, que deux siècles séparent de vous. Il vous faut alors chercher à établir une correspondance entre les idées théoriques de l'auteur que vous étudiez et les vôtres, interpréter à nouveau, au moyen des symboles que vous acceptez, ce qu'il avait interprété au moyen des symboles acceptés par lui; si vous y parvenez, la discussion de son expérience vous deviendra possible; cette expérience sera un témoignage rendu dans une langue étrangère à la vôtre, mais dans une langue dont vous possédez le vocabulaire; vous pouvez l'examiner.

Newton, par exemple, avait fait certaines observations touchant le phénomène des anneaux colorés; ces observations, il les avait interprétées dans la théorie optique qu'il avait créée, dans la théorie de l'émission; il les avait interprétées comme donnant, pour les corpuscules lumineux de chaque couleur, la distance entre un accès de facile réflexion et un accès de facile transmission; lorsque Young et Fresnel ramenèrent au jour la théorie des ondu-

lations pour la substituer à la théorie de l'émission, il leur fut possible de faire correspondre en certains points les éléments de la nouvelle théorie aux éléments de l'ancienne; ils virent, en particulier, que la distance entre un accès de facile réflexion et un accès de facile transmission correspondait au quart de ce que la nouvelle théorie appelait longueur d'onde; grâce à cette remarque, les résultats des expériences de Newton purent être traduits dans le langage des ondulations; les nombres qu'avait donnés Newton, multipliés par 4, donnèrent les longueurs d'onde des diverses couleurs.

Si, au contraire, vous ne pouvez obtenir des renseignements suffisants sur les idées théoriques du physicien dont vous discutez les expériences, si vous ne parvenez pas à établir une correspondance entre les symboles qu'il a adoptés et les symboles que vous fournissent les théories reçues par vous, si vous ne pouvez traduire en votre langage les propositions par lesquelles il a représenté les résultats de ces expériences, ces résultats ne seront pour vous ni vrais, ni faux; ils seront dénués de sens; ils seront lettre morte. Que d'observations, accumulées par les physiciens d'autrefois, sont ainsi tombées dans l'oubli! Leurs auteurs ont négligé de nous renseigner sur les méthodes qui leur servaient à interpréter les faits; il nous est impossible de transposer leurs interprétations dans nos théories; ils ont enfermé leurs idées sous des signes dont nous n'avons pas la clé.

Ces premières règles sembleront peut-être naïves, et l'on s'étonnera de nous voir insister à leur endroit; cependant, si ces règles sont banales, il est encore plus banal d'y manquer. Que de discussions scientifiques où chacun des deux tenants prétend écraser son adversaire sous le témoignage irrécusable des faits; on s'oppose l'un à l'autre des observations contradictoires; la contradiction n'est pas dans la réalité, toujours d'accord avec elle-même; elle est entre les théories par lesquelles chacun des deux

champions exprime cette réalité. Que de propositions signalées comme de monstrueuses erreurs dans les écrits de ceux qui nous ont précédés ! On les célébrerait peut-être comme de grandes vérités, si l'on voulait bien s'informer des théories qui donnent leur vrai sens à ces propositions, si l'on prenait soin de les traduire dans la langue des théories prônées aujourd'hui.

Mais supposons que vous ayez constaté l'accord entre les théories admises par un expérimentateur et celles que vous regardez comme exactes ; il s'en faut bien que vous puissiez d'emblée faire vôtres les jugements par lesquels il énonce les résultats de ses expériences ; il vous faut maintenant examiner si, dans l'interprétation des faits observés, il a correctement appliqué les règles tracées par les théories que vous acceptez tous deux ; s'il a fait toutes les corrections nécessaires ; souvent, vous trouverez que l'expérimentateur n'a pas satisfait à toutes les exigences légitimes ; en appliquant les théories, il aura commis une faute de raisonnement ou de calcul ; il aura omis une correction indispensable et laissé subsister une cause d'erreur qui aurait pu être éliminée.

L'expérimentateur a employé, pour interpréter ses observations, des théories que vous acceptez comme lui ; il a correctement appliqué, dans cette interprétation, les règles que prescrivent ces théories ; il a éliminé les causes d'erreur ou en a corrigé les effets ; ce n'est pas encore assez pour que vous puissiez adopter le résultat de ses expériences. Les propositions abstraites que les théories font correspondre aux faits observés ne sont pas, nous l'avons dit, entièrement déterminées ; aux mêmes faits peuvent correspondre une infinité de propositions différentes, une infinité d'évaluations s'exprimant par des nombres différents ; le degré d'indétermination possible de la proposition abstraite, mathématique, par laquelle s'exprime le résultat d'une expérience, c'est le degré d'approximation de cette expérience ; il vous faut con-

naître le degré d'approximation de l'expérience que vous examinez ; si l'expérimentateur l'a indiqué, il faut vous assurer des raisonnements qui lui ont servi à l'évaluer ; s'il ne l'a pas indiqué, il vous le faut déterminer par vos propres discussions ; cette appréciation du degré d'approximation que comporte une expérience donnée est une opération délicate ; elle est souvent si compliquée qu'un ordre entièrement logique y est difficile à tenir ; le raisonnement doit alors faire place à cette qualité rare, subtile, à cette sorte de flair qui se nomme le sens expérimental — apanage de l'esprit de finesse plutôt que de l'esprit géométrique.

La simple description des règles qui président à l'examen d'une expérience de physique, à son acceptation ou à son rejet, suffit à mettre en évidence cette vérité essentielle : le résultat d'une expérience de physique n'a pas une certitude de même ordre qu'un fait constaté par des méthodes non scientifiques, par la simple vue ou le simple toucher d'un homme sain de corps et d'esprit ; moins immédiate, soumise à des discussions auxquelles échappe le témoignage vulgaire, cette certitude demeure toujours subordonnée à la confiance qu'inspire tout un ensemble de théories.

*X. Inférieure en certitude à la constatation non scientifique d'un fait, l'expérience de physique la surpasse en précision.*

Si la relation d'une expérience de physique n'a pas la certitude immédiate et relativement facile à constater du témoignage vulgaire, non scientifique, elle a le pas sur ce dernier par le nombre et la minutieuse précision des détails qu'elle nous fait connaître.

Le témoignage ordinaire, celui qui rapporte un fait constaté par les procédés du sens commun et non par les méthodes scientifiques, ne peut guère être certain qu'à la condition de n'être pas détaillé, de n'être pas minutieux,

de prendre seulement le fait en gros, par ce qu'il a de plus saillant. Dans telle rue de la ville, à telle heure, j'ai vu un cheval blanc ; voilà ce que je puis affirmer avec certitude ; peut-être, à cette affirmation générale, pourrai-je joindre quelque particularité qui, à l'exclusion des autres détails, aura attiré mon attention : une étrangeté de la posture du cheval, une bizarrerie de son harnais ; mais ne me pressez pas davantage de questions ; mes souvenirs se trouble-raient ; mes réponses deviendraient vagues ; bientôt même je serais réduit à vous dire : je ne sais pas. Sauf excep-tion, le témoignage vulgaire a d'autant plus de certitude qu'il précise moins, qu'il analyse moins, qu'il s'en tient aux considérations les plus grossières et les plus obvies.

Tout autre est la relation d'une expérience scienti-fique ; elle ne se contente pas de nous faire connaître un phénomène en gros ; elle prétend l'analyser, nous faire connaître le moindre détail et la plus minutieuse particu-larité, en marquant exactement le rang et l'importance relative de chaque détail, de chaque particularité ; cette prétention excéderait ses forces, comme elle excède les forces de l'observation vulgaire, si l'une n'était pas mieux armée que l'autre ; le nombre et la minutie des détails qui accompagnent, qui composent chaque phénomène, dérouteraient l'imagination, excéderaient la mémoire et défieraient le langage, si le physicien n'avait à son service un merveil-leux instrument de classification et d'expression, une repré-sentation symbolique admirablement claire et abrégée, qui est la théorie mathématique ; s'il n'avait, pour marquer l'importance relative de chaque particularité, l'exact et bref moyen d'appréciation que lui fournit l'évaluation numérique, la mesure ; nous l'avons déjà dit : si quel-qu'un, par gageure, entreprenait de décrire une expé-rience de la physique actuelle en excluant tout langage théorique, il remplirait un volume entier du récit le plus inextricable, le plus confus et le moins compréhensible que l'on puisse imaginer.

Si donc l'interprétation théorique enlève aux résultats de l'expérience de physique la certitude immédiate, indiscutable, qu'offrent les données de l'observation vulgaire, en revanche c'est l'interprétation théorique qui permet à l'expérience scientifique de pénétrer dans l'analyse et la description détaillée des phénomènes plus avant que le sens commun.

## DEUXIÈME PARTIE

### QU'EST-CE QU'UNE LOI DE PHYSIQUE?

#### *1. Les lois de la physique sont des relations symboliques.*

De même que les lois de sens commun sont fondées sur l'observation des faits par les moyens naturels à l'homme, les lois de la physique sont fondées sur les résultats des expériences de physique ; il va sans dire que les différences profondes qui séparent la constatation non scientifique d'un fait du résultat d'une expérience de physique sépareront les lois de sens commun des lois de la physique ; aussi presque tout ce que nous avons dit des expériences de physique pourra-t-il s'étendre aux lois qu'énonce cette science.

Prenons une loi de sens commun, une des plus simples comme une des plus certaines : tout homme est mortel. Cette loi, assurément, relie entre eux des termes abstraits, l'idée abstraite d'homme en général et non l'idée concrète de tel ou tel homme particulier ; l'idée abstraite de la mort, et non l'idée concrète de telle ou telle forme de mort ; c'est à cette seule condition de relier des termes abstraits qu'elle peut être générale.

Mais ces abstractions ne sont nullement des symboles ; elles extraient simplement ce qu'il y a de général dans les réalités concrètes auxquelles la loi s'applique ; aussi, dans chacun des cas particuliers où nous appliquerons la loi,

trouverons-nous des objets concrets réalisant ces idées abstraites ; chaque fois que nous voudrions appliquer la loi : tout homme est mortel, nous nous trouverons en présence d'un certain homme particulier réalisant l'idée générale d'homme, d'une certaine mort particulière réalisant l'idée générale de mort.

Il n'en est pas de même pour les lois de la physique. Prenons une de ces lois, la loi de Mariotte, et examinons-en l'énoncé, sans nous soucier, pour le moment, de l'exactitude de cette loi. A une même température, les volumes occupés par une même masse de gaz sont en raison inverse des pressions qu'elle supporte ; tel est l'énoncé de la loi de Mariotte. Les termes qu'elle fait intervenir, les idées de masse, de température, de pression, sont encore des idées abstraites ; mais ces idées ne sont pas seulement abstraites, elles sont de plus symboliques. Placez-vous en face d'un cas concret, réel, auquel vous voulez appliquer la loi de Mariotte ; vous n'aurez pas affaire à une certaine température concrète réalisant l'idée générale de température, mais à du gaz plus ou moins chaud ; vous n'aurez pas devant vous une certaine pression particulière réalisant la notion générale de pression, mais du mercure dans un tube de verre ; sans doute, à ce gaz plus ou moins chaud correspond une certaine température, à ce mercure dans un tube de verre correspond une certaine pression, mais cette correspondance est celle d'une chose signifiée au signe qui la remplace, d'une réalité au symbole qui la représente.

Les termes abstraits sur lesquels porte une loi de sens commun n'étant autre chose que ce qu'il y a de général dans les objets concrets soumis à nos sens, le passage du concret à l'abstrait se fait par une opération si nécessaire et si spontanée qu'elle demeure inconsciente ; placé en présence d'un certain homme, d'un certain cas de mort, je les rattache immédiatement à l'idée générale d'homme, à l'idée générale de mort. Cette opération soudaine, irrè-

fléchie, fournit des idées générales non analysées, des abstractions prises, pour ainsi dire, en bloc. Sans doute, ces idées générales et abstraites, le penseur peut les analyser ; il peut chercher à pénétrer profondément le sens du mot homme, le sens du mot mort ; ce travail l'amènera à mieux saisir la raison d'être de la loi ; mais ce travail n'est pas nécessaire pour comprendre la loi ; il suffit, pour la comprendre, de prendre les termes qu'elle relie dans leur sens obvie ; aussi cette loi est-elle claire pour tous, philosophes ou non.

Les termes symboliques que relie une loi de physique ne sont plus de ces abstractions qui jaillissent spontanément de la réalité concrète ; ce sont des abstractions produites par un travail d'analyse lent, compliqué, conscient, le travail séculaire qui a élaboré les théories physiques ; impossible de comprendre la loi, impossible de l'appliquer, si l'on n'a pas fait ce travail, si l'on ne connaît pas les théories physiques ; selon que l'on adopte une théorie ou une autre, la loi change de sens, en sorte qu'elle peut être acceptée par un physicien qui admet telle théorie et rejetée par un autre physicien qui admet telle autre théorie. Prenez un paysan qui n'a jamais analysé la notion d'homme et la notion de mort, et un métaphysicien qui a passé sa vie à les analyser ; prenez deux philosophes qui les ont analysées, et qui en ont adopté des définitions différentes, inconciliables ; pour tous, la loi : tout homme est mortel, sera aussi claire et aussi vraie. Prenez, au contraire, deux physiciens qui, n'admettant pas les mêmes théories mécaniques, ne définissent pas la pression de la même manière ; l'un, par exemple, accepte les idées de Lagrange, l'autre adopte les idées de Laplace et de Poisson ; à ces deux physiciens, soumettez une loi dont l'énoncé fait intervenir la notion de pression ; ils entendront cet énoncé de deux manières différentes ; pour le comparer à la réalité, ils feront des calculs différents, en sorte que l'un pourra trouver cette loi vérifiée par des



faits qui, pour l'autre, la contrediront ; preuve bien manifeste de cette vérité : une loi de physique est une relation symbolique dont l'application à la réalité concrète exige que l'on connaisse et que l'on accepte tout un ensemble de théories.

II. *Qu'une loi de physique n'est, à proprement parler, ni vraie, ni fausse, mais approchée.*

Une loi de sens commun est un simple jugement général ; ce jugement est vrai ou faux ; prenons, par exemple, cette loi d'expérience vulgaire : à Paris, le soleil se lève chaque jour à l'orient, monte dans le ciel, puis s'abaisse et se couche à l'occident ; voilà une loi vraie, sans condition, sans restriction ; prenons, au contraire, cet énoncé : la lune est toujours pleine ; voilà une loi fausse ; si la vérité d'une loi de sens commun est mise en question, on pourra répondre à cette question par oui ou par non.

Il n'en est pas de même des lois que la science physique, parvenue à son plein développement, énonce sous forme de propositions mathématiques ; une telle loi est toujours symbolique ; or, un symbole n'est, à proprement parler, ni vrai, ni faux ; il est plus ou moins bien choisi pour signifier la réalité qu'il représente, il la figure d'une manière plus ou moins précise, plus ou moins détaillée ; mais, appliqués à un symbole, les mots vérité, erreur, n'ont plus de sens ; aussi, à celui qui demande si telle loi de physique est vraie ou fausse, le logicien qui a souci du sens strict des mots sera obligé de répondre : je ne comprends pas votre question. Commentons cette réponse, qui peut sembler paradoxale, mais dont l'intelligence est nécessaire à celui qui prétend savoir ce qu'est la physique.

A un fait donné, la méthode expérimentale, telle que la physique la pratique, fait correspondre non pas un seul jugement symbolique, mais une infinité de jugements symboliques différents ; le degré d'indétermination du

symbole est le degré d'approximation de l'expérience en question. Prenez une suite de faits analogues; pour le physicien, trouver la loi de ces faits, ce sera trouver une formule qui contienne la représentation symbolique de chacun de ces faits; l'indétermination du symbole qui correspond à chaque fait entraîne, dès lors, l'indétermination de la formule qui doit réunir tous ces symboles; à un même ensemble de faits, on peut faire correspondre une infinité de formules différentes, une infinité de lois physiques distinctes; chacune de ces lois, pour être acceptée, doit faire correspondre à chaque fait non pas le symbole de ce fait, mais l'un quelconque des symboles, en nombre infini, qui peuvent représenter ce fait; voilà ce qu'on entend dire lorsqu'on déclare que les lois de la physique ne sont qu'approchées.

Imaginons, par exemple, que vous ne puissiez vous contenter des renseignements fournis par cette loi de sens commun : à Paris, le soleil se lève chaque jour à l'orient, monte dans le ciel, puis descend et se couche dans l'occident; vous vous adressez aux sciences physiques pour avoir une loi précise du mouvement du soleil vu de Paris, une loi indiquant à l'observateur parisien quelle situation le soleil occupe à chaque instant dans le ciel. Les sciences physiques, pour résoudre le problème, vont faire usage non pas de réalités sensibles, du soleil tel que vous le voyez briller dans le ciel, mais des symboles par lesquels les théories représentent ces réalités; le soleil réel, malgré les irrégularités de sa surface, malgré les immenses protubérances qu'elle porte, elles le remplaceront par une sphère géométriquement parfaite, et c'est la position du centre de cette sphère idéale qu'elles vont chercher à déterminer; ou, plutôt, elles chercheront à déterminer la position qu'occuperait ce point si la réfraction astronomique ne déviait pas les rayons du soleil, si l'aberration annuelle ne modifiait pas la position apparente des astres; c'est donc bien un symbole qu'elles substi-

tuent à la seule réalité sensible offerte à vos constatations, au disque brillant que votre lunette peut viser ; pour faire correspondre le symbole et la réalité, il faut effectuer des mesures compliquées, il faut faire coïncider les bords de l'image du soleil avec un fil de micromètre, il faut procéder à de multiples lectures sur des cercles divisés ; il faut aussi des calculs dont la légitimité résulte des théories admises, de la théorie de la réfraction atmosphérique, de la théorie de l'aberration.

Ce point, symboliquement nommé le centre du soleil, ce n'est pas encore ce que vos formules vont saisir ; ce qu'elles saisiront, ce sont les coordonnées de ce point, son ascension droite et sa déclinaison, coordonnées dont le sens ne peut être compris que si l'on connaît les lois de la cosmographie.

Or, à une position déterminée du disque solaire ne peut-on faire correspondre qu'une seule valeur pour l'ascension droite et une seule valeur pour la déclinaison du centre du soleil, les corrections d'aberration et de réfraction étant supposées faites ? Non pas. Le pouvoir optique de l'instrument qui vous sert à viser le soleil est limité ; les diverses observations que comporte votre expérience, les diverses lectures qu'elle exige sont d'une sensibilité limitée. Que le disque solaire soit dans telle position ou dans telle autre, si l'écart est assez petit, vous ne pourrez pas vous en apercevoir. Mettons que vous ne puissiez distinguer deux points lorsque leur distance angulaire est inférieure à  $1''$ . Il vous suffira, pour déterminer la position du soleil à un instant donné, de connaître l'ascension droite et la déclinaison du centre du soleil à  $1''$  près ; dès lors, pour représenter la marche du soleil, qui n'occupe à chaque instant qu'une seule position, vous pourrez donner à chaque instant non pas une valeur de l'ascension droite et une valeur de la déclinaison, mais une infinité de valeurs de l'ascension droite et une infinité de valeurs de la déclinaison ; seulement, pour un même instant, deux valeurs

acceptables de l'ascension droite ou deux valeurs acceptables de la déclinaison ne pourront différer de plus de 1".

Cherchez maintenant la loi du mouvement du soleil, c'est-à-dire deux formules vous permettant de calculer, à chaque instant de la durée, la valeur de l'ascension droite du centre du soleil et la valeur de la déclinaison du même point; n'est-il pas évident que vous pourrez adopter, pour représenter la marche de l'ascension droite en fonction du temps, non pas une formule unique, mais une infinité de formules différentes, pourvu qu'à un même instant toutes ces formules vous conduisent à des valeurs de l'ascension droite différant entre elles de moins de 1"? N'est-il pas évident qu'il en sera de même pour la déclinaison? Vous pourrez donc représenter également bien vos observations sur la marche du soleil par une infinité de lois différentes; ces diverses lois s'exprimeront par des équations que l'analyse regarde comme incompatibles, par des équations telles que, si l'une d'entre elles est vérifiée, aucune autre ne l'est; cependant, pour le physicien, toutes ces lois sont également acceptables, car elles déterminent toutes la position du soleil avec une approximation supérieure à celle que comporte l'observation; le physicien n'a le droit de dire d'aucune de ces lois qu'elle est vraie à l'exclusion des autres.

Sans doute, entre ces lois, le physicien a le droit de choisir et, en général, il choisira; mais les motifs qui guideront son choix n'auront ni la même nature, ni la même nécessité impérieuse que ceux qui obligent à préférer la vérité à l'erreur. Il choisira une certaine formule parce qu'elle est plus simple que les autres; la faiblesse de notre esprit nous contraint d'attacher une grande importance aux considérations de cet ordre; mais le temps n'est plus où l'on supposait l'intelligence du Créateur atteint de la même débilité, où l'on repoussait, au nom de la simplicité des lois de la nature, toute loi qu'exprimait une équation algébrique trop compliquée. Le physicien préférera sur-

tout une loi à une autre lorsque la première découlera des théories qu'il admet ; il demandera, par exemple, à la théorie de l'attraction universelle quelles formules il doit préférer parmi toutes celles qui pourraient représenter le mouvement du soleil ; mais les théories physiques ne sont qu'un moyen de classer et de relier entre elles les lois approchées auxquelles les expériences sont soumises ; les théories ne peuvent donc modifier la nature de l'une de ces lois et lui conférer la vérité absolue.

Ainsi, toute loi de physique est une loi approchée ; par conséquent, pour le strict logicien, elle ne peut être ni vraie, ni fausse ; toute autre loi qui représente les mêmes expériences avec la même approximation peut prétendre, aussi justement que la première, au titre de loi véritable, ou, pour parler plus rigoureusement, de loi acceptable.

### III. *Que toute loi de physique est provisoire.*

Le caractère essentiel d'une loi, c'est la fixité. Une proposition n'est une loi que parce que, vraie aujourd'hui, elle sera encore vraie demain. Dire d'une loi qu'elle est provisoire, ne serait-ce pas énoncer une contradiction ? Oui, si l'on entend par lois celles que nous révèle le sens commun, celles dont on peut dire, au sens propre du mot, qu'elles sont vraies ; une telle loi ne peut être vraie aujourd'hui et fausse demain. Non, si l'on entend par lois les lois que la physique énonce sous forme mathématique ; une telle loi est toujours provisoire ; non pas qu'il faille entendre par là qu'une loi de physique est vraie pendant un certain temps et fausse ensuite, car elle n'est à aucun moment ni vraie, ni fausse ; elle est provisoire, parce qu'elle représente les faits auxquels elle s'applique avec une approximation que les physiciens jugent actuellement suffisante, mais qui cessera un jour de les satisfaire.

Le degré d'approximation d'une expérience n'est pas, nous l'avons fait remarquer, quelque chose de fixe ; il croît au fur et à mesure que les instruments deviennent plus

parfaits, que les causes d'erreur sont plus strictement évitées, ou que des corrections plus précises permettent de les mieux évaluer. Au fur et à mesure que les méthodes expérimentales progressent, l'indétermination du symbole abstrait que l'expérience de physique fait correspondre au fait concret va en diminuant ; beaucoup de jugements symboliques qui eussent été regardés, à une époque, comme représentant bien un fait concret déterminé, ne seront plus acceptés à une autre époque comme signes de ce fait. Par exemple, les astronomes de tel siècle accepteront, pour représenter la position du soleil à un instant donné, toutes les valeurs de l'ascension droite, ou toutes les valeurs de la déclinaison, qui ne s'écarteront pas les unes des autres de plus de  $1''$ , parce que leurs instruments ne leur permettent pas de distinguer l'un de l'autre deux points dont la distance angulaire est inférieure à  $1''$ . Les astronomes du siècle suivant auront des instruments dont le pouvoir optique sera dix fois plus grand, ils exigeront alors que les diverses déterminations de l'ascension droite du centre du soleil à un instant donné, que les diverses déterminations de la déclinaison, ne s'écartent pas les unes des autres de plus de  $0'',1$  ; une infinité de déterminations, dont se seraient contentés leurs devanciers, seront rejetées par eux.

Au fur et à mesure que se resserre l'indétermination des résultats d'expérience, l'indétermination des formules qui servent à condenser ces résultats va en diminuant ; un siècle acceptait, comme loi du mouvement du soleil, tout groupe de formules qui donnait, à chaque instant, les coordonnées du centre de cet astre à une seconde près ; le siècle suivant imposera à toute loi du mouvement du soleil la condition de lui donner à  $0'',1$  près les coordonnées du centre du soleil ; une infinité de lois reçues par le premier siècle se trouveront ainsi rejetées par le second.

Toute loi physique, étant une loi approchée, est à la

merci d'un progrès qui, en augmentant la précision des expériences, rendra insuffisant le degré d'approximation que comporte cette loi ; le physicien doit toujours la considérer comme provisoire.

Ce n'est pas seulement parce qu'elle est approchée qu'une loi de physique est provisoire ; c'est aussi parce qu'elle est une relation symbolique ; il se rencontre toujours des cas où les symboles sur lesquels elle porte ne sont pas capables de représenter la réalité d'une manière satisfaisante.

Pour étudier un certain gaz, le physicien en donne une représentation schématique ; il le figure comme un fluide parfait, ayant une certaine densité, porté à une certaine température, soumis à une certaine pression ; entre ces trois éléments, densité, température, pression, il établit une certaine relation : la loi de compressibilité et de dilatation du gaz ; cette loi est-elle définitive ?

Placez ce gaz entre les plateaux d'un condensateur électrique fortement chargé ; déterminez sa densité, sa température, la pression qu'il supporte ; les valeurs de ces trois éléments ne vérifieront plus la loi de compressibilité et de dilatation du gaz. Le physicien s'étonne-t-il de trouver sa loi en défaut ? Va-t-il mettre en doute la fixité des lois de la nature ? Non ; il se dit simplement que la relation défectueuse était une relation symbolique, qu'elle portait non pas sur le gaz réel qu'il manipule, mais sur un certain gaz schématique défini par sa densité, sa température et sa pression ; que, sans doute, ce schéma était trop simple, trop incomplet, pour représenter les propriétés du gaz réel placé dans les conditions où il se trouve actuellement. Il cherche alors à compléter ce schéma, à le rendre plus apte à exprimer la réalité ; il ne se contente plus de définir le gaz symbolique au moyen de sa densité, de sa température, de la pression qu'il supporte, il lui attribue un pouvoir diélectrique ; il introduit dans la représentation de ce corps l'intensité du champ

électrique dans lequel il est placé ; il soumet ce symbole plus complet à de nouvelles études et il obtient la loi de compressibilité du gaz doué de polarisation diélectrique ; c'est une loi plus compliquée que celle qu'il avait obtenue tout d'abord ; elle renferme celle-là comme cas particulier ; mais, plus compréhensive, elle sera vérifiée dans des cas où celle-là tomberait en défaut.

Cette nouvelle loi est-elle définitive ?

Prenez le gaz auquel elle s'applique, placez-le entre les pôles d'un électro-aimant ; la voilà à son tour démentie par l'expérience. Ne croyez pas que ce nouveau démenti étonne le physicien ; il sait qu'il a affaire à une relation symbolique et que le symbole qu'il a créé, image fidèle de la réalité dans certains cas, ne saurait lui ressembler en toutes circonstances ; il reprend donc, sans se décourager, le schéma du gaz sur lequel il expérimente ; pour permettre à ce schéma de représenter les faits, il ajoute de nouveaux traits ; ce n'est plus assez que le gaz ait une densité, une température, un pouvoir diélectrique, qu'il supporte une pression, qu'il soit placé dans un champ électrique d'intensité donnée ; il lui attribue un coefficient d'aimantation ; il tient compte de l'intensité du champ magnétique dans lequel il se trouve, et, reliant tous ces éléments par un ensemble de formules, il obtient la loi de compressibilité et de dilatation du gaz polarisé et aimanté ; loi plus compliquée, mais plus compréhensive que celles qu'il avait d'abord obtenues ; loi qui sera vérifiée dans une infinité de cas où celles-ci recevraient un démenti, et, cependant, loi provisoire ; un jour, le physicien le prévoit, des conditions seront réalisées où cette loi se trouvera en défaut ; ce jour-là, il faudra reprendre la représentation symbolique du gaz, y ajouter de nouveaux éléments ; ce symbole est comme un mécanisme dont la souplesse est d'autant plus grande qu'il est formé de plus de pièces ; qui, au fur et à mesure qu'il se complique, s'applique plus étroitement aux faits ; mais ce mécanisme aura beau



devenir de plus en plus minutieux et précis, il restera toujours un simulacre grossier et provisoire de la réalité.

Ce travail de continuelles retouches, par lequel les lois de la physique évitent de mieux en mieux les démentis de l'expérience, joue un rôle tellement essentiel dans le développement de la physique, qu'on nous permettra d'insister quelque peu à son endroit et d'en étudier la marche sur un second exemple.

De toutes les lois de la physique, la mieux vérifiée par ses innombrables conséquences est assurément la loi de l'attraction universelle ; les observations les plus précises sur les mouvements des astres n'ont pu, jusqu'ici, la mettre en défaut ; est-ce une loi définitive ? Non pas, mais une loi provisoire, qui devra se modifier et se compliquer sans cesse pour se mettre d'accord avec l'expérience.

Voici de l'eau dans un vase ; la loi de l'attraction universelle vous fait connaître la force qui agit sur chacune des particules de cette eau ; cette force, c'est le poids de la particule ; la mécanique vous indique quelle figure l'eau doit affecter : quelle que soit la nature et la forme du vase, elle doit être terminée par un plan horizontal. Regardez de près la surface qui termine cette eau ; horizontale loin des bords du vase, elle cesse de l'être au voisinage des parois de verre ; elle se relève le long de ces parois ; dans un espace étroit, elle monte très haut, et devient tout à fait concave ; voilà la loi de l'attraction universelle en défaut. Pour éviter que les phénomènes capillaires démentent la loi de la gravitation, il faudra la modifier ; il faudra regarder la formule de la raison inverse du carré de la distance comme une formule approchée ; il faudra admettre que cette formule fait connaître avec une précision suffisante l'attraction de deux parties matérielles éloignées, mais qu'elle devient fort incorrecte lorsqu'il s'agit d'exprimer l'action de deux éléments très rapprochés ; il faudra introduire dans les équations un terme complémentaire qui, en les compliquant, les rendra aptes à représenter

une classe plus étendue de phénomènes et leur permettra d'embrasser, dans une même loi, les mouvements des astres et les effets capillaires.

Cette loi sera plus compréhensive que celle de Newton ; elle ne sera pas, pour cela, sauve de toute contradiction ; dans une foule de cas, les lois de la capillarité seront en désaccord avec les observations ; pour faire disparaître ce désaccord, il faudra reprendre la formule des actions capillaires, la modifier et la compléter, en tenant compte des charges électriques que portent les particules du fluide et des forces qui s'exercent entre ces particules électrisées. Ainsi se continuera indéfiniment cette lutte entre la réalité et les lois de la physique ; à toute loi que formulera la physique, l'expérience opposera le brutal démenti d'un fait ; mais, infatigable, la physique retouchera, modifiera, compliquera la loi démentie, pour la remplacer par une loi plus compréhensive, où l'exception soulevée par l'expérience aura, à son tour, trouvé sa règle.

C'est par cette lutte incessante, c'est par ce travail qui complète les lois pour y faire rentrer les exceptions, que la physique progresse ; c'est parce qu'un morceau d'ambre frotté de laine mettait en défaut les lois de la pesanteur que la physique a créé les lois de l'électrostatique ; c'est parce qu'un aimant produisait des effets contraires à ces mêmes lois de la pesanteur qu'elle a imaginé les lois du magnétisme ; c'est parce que Ørstedt avait trouvé une exception aux lois de l'électrostatique et du magnétisme qu'Ampère a inventé les lois de l'électrodynamique et de l'électromagnétisme. La physique ne progresse pas comme la géométrie, qui ajoute de nouvelles propositions définitives et indiscutables aux propositions définitives et indiscutables qu'elle possédait déjà ; elle progresse parce que, sans cesse, l'expérience fait éclater de nouveaux désaccords entre la théorie et la réalité, et que, sans cesse, les physiciens retouchent et modifient la théorie pour lui donner avec la réalité une plus parfaite ressemblance.

IV. *Les lois de physique sont plus détaillées que les lois de sens commun.*

Les lois que l'expérience non scientifique nous permet de formuler sont des jugements généraux dont le sens est immédiat ; placé en présence de l'un de ces jugements, on peut se demander : est-il vrai ? En général, la réponse est aisée ; la loi reconnue vraie l'est dans tous les temps et sans exception.

Les lois scientifiques fondées sur les expériences de physique sont des relations symboliques dont le sens demeurerait inintelligible à qui ne connaîtrait pas les théories physiques ; étant symboliques, elles ne sont jamais ni vraies, ni fausses ; comme les expériences sur lesquelles elles reposent, elles sont approchées ; l'approximation d'une loi, suffisante aujourd'hui, deviendra insuffisante dans l'avenir, par suite du progrès des méthodes expérimentales ; en sorte qu'une loi de physique est toujours provisoire ; elle est provisoire aussi parce qu'elle relie non des réalités, mais des symboles, et qu'il est toujours des cas où le symbole ne représente plus la réalité ; les lois de la physique ne peuvent donc être maintenues que par un continuel travail de retouches et de modifications.

Le problème de la certitude des lois de la physique se pose d'une tout autre manière, d'une manière plus compliquée et plus délicate, que le problème de la certitude des lois de sens commun. On pourrait être tenté d'en tirer cette conclusion étrange que la connaissance des lois de la physique constitue un degré de science inférieur à la simple connaissance des lois de sens commun. A ceux qui chercheraient à déduire des considérations précédentes cette conséquence paradoxale, contentons-nous de répondre, en répétant des lois de la physique ce que nous avons dit des expériences scientifiques : une loi de physique possède une certitude beaucoup moins immédiate et beaucoup plus difficile à apprécier qu'une loi de sens commun ; mais elle

surpasse cette dernière par la minutieuse précision des détails.

Que l'on compare cette loi de sens commun : à Paris, le soleil se lève tous les jours à l'orient, monte dans le ciel, puis redescend et se couche à l'occident, aux formules qui, à chaque instant, font connaître à une seconde près les coordonnées du centre du soleil, et l'on sera convaincu de l'exactitude de cette proposition.

C'est ce souci de la minutieuse exactitude et de l'analyse précise qui distingue la science physique du sens commun; c'est ce souci qui donne à ses lois un caractère provisoire et approché; tout ce que nous venons de dire de ce caractère est comme un commentaire de cette pensée de Pascal: « La vérité est une pointe si subtile que nos instruments sont trop émoussés pour y toucher exactement. S'ils y arrivent, ils en écachent la pointe, et appuient tout autour, plus sur le faux que sur le vrai. »

Si, après cela, quelqu'un s'étonne encore de voir l'esprit humain, grossièrement renseigné sur les phénomènes naturels par des lois certainement vraies, demander une connaissance plus détaillée de ces mêmes phénomènes à des formules qui sont seulement approchées et provisoires, je me contenterai de livrer à ses méditations l'apologue suivant :

Un botaniste, à la recherche d'un arbre rare, rencontre deux paysans, auxquels il demande des renseignements; « Dans ce bois-ci, lui dit l'un, il y a un de ces arbres ». — « Prenez, lui dit l'autre, le troisième sentier que vous rencontrerez; faites-y cent pas; vous serez au pied même de l'arbre que vous cherchez. » Le botaniste prend le troisième sentier, y fait cent pas, mais il n'a pas atteint l'objet de ses recherches; pour toucher le pied de l'arbre il faut encore cinq pas.

Des deux renseignements qu'il a recueillis, le premier était vrai, le second était faux; quel est cependant celui des deux paysans qui a le plus de droits à sa reconnaissance?

## CONCLUSION.

De ces quelques réflexions touchant la méthode expérimentale employée en physique, on pourrait déduire bien des conclusions ; je n'en veux retenir qu'une.

Les métaphysiciens sont portés, surtout à notre époque, à emprunter les lois de la physique pour les faire servir à l'édification ou à la ruine des systèmes philosophiques ; la foi quelque peu superstitieuse que professent les hommes de notre temps en la puissance et l'infailibilité de la science positive, le reproche fréquemment et violemment adressé aux philosophes de demeurer étrangers aux conquêtes de cette science, tout contribue à fortifier cette tendance ; qu'elle soit, au fond, légitime, c'est ce que je me garderai bien de nier ; mais elle est, assurément, pleine de dangers pour celui qui s'y abandonnerait imprudemment, et ce sont ces dangers que je voudrais signaler.

Que le philosophe se garde bien de considérer une loi de physique comme une vérité absolue, partageant la certitude des propositions mathématiques dont elle revêt la forme ; la physique ne connaît pas de ces vérités absolues ; bien loin qu'en prenant le langage des mathématiques elle participe de leur infailibilité, elle ne peut énoncer ses lois dans la langue de l'algèbre et de la géométrie qu'à la condition de les regarder comme approchées.

Que le philosophe ne regarde jamais une loi de physique comme une vérité inébranlable et illimitée, qui demeurera éternellement vraie, qui ne rencontrera jamais d'exceptions : loi approchée, d'une approximation qui nous satisfait, mais qui ne satisfera plus nos successeurs, toute loi de physique acceptée aujourd'hui est destinée à être un jour rejetée ; loi symbolique, qui s'applique non pas à la réalité, mais à un schéma trop simple, toute loi

de physique est essentiellement provisoire ; le nombre des cas auxquels elle s'applique est toujours infiniment petit en comparaison du nombre des cas qui lui échappent ; incessamment, elle se modifie et se complète pour embrasser les faits qui la démentent, sans jamais épuiser les exceptions.

Que surtout le philosophe n'oublie pas ce caractère symbolique des lois de la physique ; les grandeurs que relient les équations par lesquelles ces lois s'expriment ne sont que des signes ; pour interpréter ces signes, il faut une clé, clé compliquée que constituent les théories physiques : ces théories, le philosophe qui veut faire usage des lois de la physique doit en avoir une connaissance approfondie ; faute de cette connaissance, la signification qu'il prêterait à ces lois ne serait qu'un contresens.

---

# L'ÉVOLUTION DES THÉORIES PHYSIQUES

DU XVII<sup>e</sup> SIÈCLE JUSQU'À NOS JOURS.

---

## I.

Les théories de la physique moderne sont nées d'une réaction contre la philosophie scolastique ; il serait impossible de comprendre la génération de ces théories, de démêler la loi de leur évolution, si l'on faisait abstraction des doctrines philosophiques qu'elles prétendaient supplanter.

L'École vivait de la pensée d'Aristote, pensée expliquée, développée, et parfois altérée, en d'innombrables commentaires. Aristote a comme condensé l'esprit et la méthode de sa philosophie, presque au début de son œuvre, dans cette partie de l'*Organon* où il se propose de classer toutes les idées des hommes en un petit nombre de *catégories*, essentiellement distinctes et irréductibles.

Toutes les idées qui nous représentent des *substances* se rangent en une première catégorie ; toutes celles qui nous figurent des *accidents* se distribuent en d'autres catégories ; parmi les accidents qu'une substance peut présenter, les uns appartiennent à la catégorie de la *quantité*, les autres à la catégorie de la *qualité*.

Voici des sacs de blé ; chacun d'eux renferme un certain nombre de grains ; ce nombre est une quantité. Voici des temps de différente durée : des heures, des jours, des

années, des siècles ; ces durées sont des quantités. Voici des chemins de diverse longueur ; ces longueurs sont des quantités. Voici des champs différents de forme et d'aspect ; chacun de ces champs a une aire et cette aire est une quantité.

A ces attributs si différents, aux nombres, aux durées, aux longueurs, aux surfaces, pourquoi donne-t-on ce même nom de quantité ? Quels sont les caractères communs de ces notions dissemblables ?

Deux sacs de blé peuvent contenir le même nombre de grains, ou bien l'un d'entre eux peut en contenir plus que l'autre ; deux temps peuvent avoir la même durée ou des durées inégales ; de deux chemins différents, l'un peut être aussi long, moins long, plus long que l'autre ; deux champs peuvent avoir la même superficie ou des superficies différentes ; nous saisissons là un premier caractère commun à tous ces attributs auxquels convient le nom de quantités ; tous, ils sont capables d'égalité ou d'inégalité.

Mais ce n'est pas là la seule marque distinctive qui serve à définir la catégorie de la quantité.

Prenez diverses mesures de blé, qui renferment des nombres différents de grains ; versez-les toutes ensemble dans un même sac ; ce sac contient maintenant un certain nombre de grains ; ce nombre surpasse celui que contenait chacune des mesures ; quel que soit l'ordre dans lequel vous mêliez toutes ces mesures de blé, ce nombre demeure le même ; il est la *somme* des nombres de grains de blé que renfermait chaque mesure.

Prenez divers temps, égaux ou inégaux ; leur succession formera un nouveau temps, de plus grande durée que chacun d'eux, mais dont la durée ne dépendra pas de l'ordre dans lequel les divers temps partiels se seront succédé.

Prenez des chemins différents, placez-les bout à bout ; leur suite sera un nouveau chemin, plus long que chacun des premiers ; que l'on change la manière de placer ceux-ci



les uns au bout des autres, la forme du chemin obtenu pourra bien changer, mais la longueur de ce chemin demeurera invariable.

Prenez des surfaces de forme variée ; juxtaposez-les ; leur réunion formera une nouvelle surface, plus grande que chacune des premières ; le mode de juxtaposition de celles-ci influe sur la forme de la surface résultante, mais non sur l'aire de cette surface.

Si donc un attribut appartient à la catégorie de la quantité, on pourra grouper les objets en lesquels se rencontre cet attribut de telle manière que l'objet complexe résultant de ce groupement présente le même attribut, mais à un plus haut degré ; et ce degré sera indépendant de l'ordre qui a présidé au groupement ; c'est ce caractère que l'on exprime en ces termes : les quantités de même espèce sont susceptibles d'*addition*.

C'est parce que les quantités présentent tous les caractères que nous venons d'analyser que l'on peut toutes les figurer au moyen d'une espèce particulière de quantités, la première et la plus simple de toutes, au moyen des *nombres* ; une opération bien connue, la *mesure*, effectue cette substitution des nombres aux quantités, substitution précieuse, qui permet de réunir en une science unique, l'*Arithmétique*, non seulement l'étude des nombres, mais encore l'étude générale de toute quantité.

Égalité, inégalité, addition, ces marques définissent nettement la catégorie de la quantité ; hors de ce domaine rigoureusement délimité s'étend la catégorie illimitée de la qualité. « Qualité, dit Aristote, est un de ces mots qui sont pris en beaucoup de sens. » Qualité, la forme d'une figure de géométrie, qui en fait un cercle ou un triangle ; qualités, les propriétés sensibles des corps, le chaud et le froid, le clair et l'obscur, le rouge et le bleu ; être en bonne santé, qualité ; être vertueux, qualité ; être grammairien, géomètre ou musicien, qualités.

« Il est des qualités qui ne sont pas susceptibles de plus

ou de moins ; un cercle n'est pas plus ou moins circulaire ; un triangle n'est pas plus ou moins triangulaire. Mais la plupart des qualités sont susceptibles de plus ou de moins ; elles sont capables d'*intensité* ; une chose blanche peut devenir plus blanche. »

Entre l'intensité d'une qualité et la grandeur d'une quantité, quelle différence !

Le grand nombre de grains que renferme un sac de blé peut toujours être obtenu par la réunion de monceaux de blé dont chacun renferme une moindre quantité de grains ; un siècle est une succession d'années ; une année, une succession de jours, d'heures, de minutes ; un chemin long de plusieurs lieues se parcourt en mettant bout à bout les brefs segments que le marcheur franchit à chaque pas ; un champ de grande étendue peut se décomposer en parcelles de moindre surface. Une quantité, quelle qu'elle soit, peut toujours être obtenue par l'addition de quantités de même espèce et de moindre grandeur.

Rien de semblable dans la catégorie de la qualité. Juxtaposez plusieurs corps également rouges ; leur ensemble est du même rouge, il n'est pas d'un rouge plus vif ; réunissez deux corps aussi chauds l'un que l'autre ; leur ensemble est aussi chaud que chacun d'eux, il n'est pas plus chaud ; entassez des boules de neige, disait Diderot, vous n'arriverez pas à chauffer un four. En général une qualité, prise avec une intensité déterminée, ne peut se former par voie d'addition au moyen de la même qualité, prise avec une intensité moindre. Le mot même d'addition n'a plus de sens dans la catégorie de la qualité et la mesure n'y a plus de prise.

Seule parmi les sciences, l'arithmétique laisse de côté la considération de toute qualité, et contemple uniquement les lois de la quantité. Déjà la géométrie rencontre des qualités parmi les objets de ses recherches, car la forme des diverses figures est qualité. Quant à la physique, elle est essentiellement l'étude des qualités sensibles des corps ;

non pas que la considération de la quantité n'ait aucune place en cette science, car « les corps physiques présentent des volumes, des surfaces, des lignes et des points, choses dont s'occupe le mathématicien », en sorte que certaines parties de la physique, l'astronomie par exemple, sont en même temps des sciences mathématiques; mais, tandis que le géomètre étudie les grandeurs et les figures d'une manière abstraite, en les séparant des corps naturels où elles se rencontrent accompagnées de qualités, le physicien, lui, ne peut rejeter ces qualités hors de ses spéculations; selon la comparaison naïve qu'emploie saint Thomas d'Aquin, après Aristote, l'un étudie la courbure d'un nez sans se soucier du nez qu'elle profile, l'autre s'occupe du nez en chair et en os où cette courbure se rencontre.

Le géomètre ne connaît dans les corps qu'une seule espèce de modifications, le changement de figure et de position dans l'espace, le *mouvement local*; le physicien conçoit et analyse un *mouvement* infiniment plus général qui embrasse, en ses formes diverses, toute sorte de changement dans la substance et les qualités des corps; mouvement, le mouvement local, par lequel les corps changent de figure et de position; mais aussi mouvement, l'acte par lequel une qualité devient plus ou moins intense, par lequel un corps devient plus ou moins chaud, une source de lumière plus ou moins éclatante; mouvement, l'opération par laquelle les qualités se transforment les unes dans les autres, par laquelle un solide devient fluide, un liquide se change en vapeur; mouvement, l'apparition ou la disparition d'une qualité, l'électrisation d'un morceau d'ambre que l'on frotte, l'extinction d'un flambeau que l'on souffle; mouvement, la combinaison qui unit les éléments simples pour former des mixtes, la décomposition qui résout les mixtes en leurs éléments. Telle est l'infinie variété des mouvements qui s'offrent aux méditations du physicien, mais qui échappent aux raisonnements du mathématicien, car les attributs qui changent en ces mouvements sont qualités et non pas quantités.

## II.

Sur cette base si simple, si large, si solide, quel édifice incohérent, mesquin, caduc avait construit la Scolastique à son déclin, on le sait de reste; au lieu d'étudier la nature, on en demandait les secrets à des commentaires étroits et étranges où l'on tourmentait et déformait la pensée d'Aristote; au lieu de chercher à découvrir les lois qui relient les uns aux autres les divers phénomènes physiques, on se contentait d'attribuer chacun d'eux à une qualité nouvelle des corps, à une vertu spécifique, à une forme substantielle et l'on pensait par là en dévoiler la cause dernière; la légèreté mouvante, l'horreur du vide, les sympathies et les antipathies de toute espèce formaient un chaos de dénominations bizarres et d'explications puériles ou saugrenues; telle était la physique à la fin du xvi<sup>e</sup> siècle.

Cette science en était arrivée à ce point de provoquer, chez les esprits quelque peu soucieux de rigueur et épris de clarté, un sentiment voisin du dégoût; dans leur horreur des pédantesques sornettes qu'ils entendaient débiter chaque jour sous l'autorité d'Aristote, ils en étaient arrivés à confondre la grande œuvre du Stagyrite et des maîtres de l'École, tels que saint Thomas d'Aquin, avec le ridicule et futile verbiage de leurs derniers héritiers.

« Aristote, s'écriait Bacon, a corrompu la philosophie naturelle avec sa dialectique; il a voulu construire le monde avec ses catégories... La première idée nous a valu les qualités premières élémentaires; la seconde les propriétés occultes et les vertus spécifiques; l'une et l'autre reviennent à un ordre de vaines spéculations, où l'esprit se repose, croyant juger d'un seul trait les choses, et qui le détourne des connaissances solides. » Et à l'*Organon* d'Aristote, Bacon opposait le *Novum organum*.

Étrange œuvre que ce livre, qui se prétendait la logique

de la science à venir ! A son attaque contre les qualités et vertus que considère la philosophie scolastique, Bacon donnait cette conclusion : « Mais, négligeant ces distinctions, si l'on observe, par exemple, qu'il y a dans les corps un principe d'attraction mutuelle, en telle façon qu'ils ne souffrent pas que la continuité de la nature soit rompue et déchirée et que le vide s'y produise, ... ou si l'on dit qu'il y a dans les corps une tendance à s'agréger aux masses de nature semblable, les corps denses tendant vers l'orbe de la terre, les corps légers et rares vers l'orbe céleste, ces distinctions et d'autres semblables seront les véritables genres physiques de mouvements. Les autres, au contraire, sont purement logiques et scolastiques. »

La nouvelle physique gardera donc de l'héritage scolastique l'horreur du vide, les sympathies et antipathies, la légèreté et la gravité ; à l'alchimie, elle empruntera son but qui est « de donner à l'argent la couleur de l'or, ou un poids plus considérable, ... ou la transparence à quelque pierre non diaphane, ou la ténacité au verre, ou la végétation à quelque corps non végétant ».

Pour obtenir ces merveilleux résultats, il faut « mettre en lumière la texture et la constitution vraie des corps, d'où dépend dans les choses toute propriété et vertu occulte et, comme on dit, spécifique ».

Quelle méthode suivra-t-on pour parvenir à cette connaissance approfondie, intime, de la nature ? On dressera, en chaque investigation, une table des faits positifs, une table des faits négatifs, une table de degrés ou de comparaisons, une table d'exclusions et de rejets ; on distinguera vingt-sept espèces de faits privilégiés que désigneront des dénominations bizarrement allégoriques : faits de migrations, faits indicatifs, limitrophes, hostiles, faits de la croix, de la lampe, de divorce, du cours d'eau, de la verge...

Bacon nous donne-t-il quelque exemple qui nous permette d'apprécier et de saisir sur le vif le fonctionnement

de ce merveilleux instrument ? Il emploie sa méthode à cueillir une « première vendange sur la forme de la chaleur » et voici le suc de cette vendange : « La chaleur est un mouvement expansif, combattu, qui opère dans les molécules des corps. Au caractère de l'expansion, il faut ajouter ceci : un mouvement du centre à la circonférence, joint à un mouvement de bas en haut. A cet autre caractère du mouvement, action moléculaire, il faut ajouter que l'action se fait sans lenteur, avec une certaine rapidité et même de l'impétuosité. »

Le XVIII<sup>e</sup> siècle, et le nôtre après lui, ont voulu voir dans le *Novum organum* ce que Bacon avait souhaité d'y mettre : le programme de la physique des temps modernes. En fait, ce livre n'a exercé aucune influence sur le développement de la science expérimentale ; au moment où Bacon l'écrivait, la nouvelle physique trouvait en Galilée son véritable instaurateur.

### III.

Par son exemple, plus que par ses préceptes, Galilée ramena les physiciens à l'étude de la nature ; il montra comment il fallait conduire une expérience, comment il fallait en interpréter les résultats, afin d'obtenir la loi qui relie entre eux les phénomènes physiques d'un même groupe. Dans ses grandes lignes, la méthode expérimentale a été tracée le jour où le premier homme a cherché à se rendre compte des choses qui l'entouraient ; mais, plus que tout autre, Galilée a contribué à lui donner, par l'emploi raisonné des instruments, par l'usage de la langue et de la déduction géométriques, la forme précise, systématique, scientifique, qui caractérise la physique moderne.

Galilée n'aimait pas à introduire en physique les qualités et les vertus spécifiques que considéraient les scolastiques ; dans ses *Dialogues*, un des interlocuteurs rappelle l'expli-

cation du flux et du reflux proposée par Képler : la Lune serait douée d'une vertu attractive sur les eaux de la mer. « Avec ces deux mots, sympathie et antipathie, s'écrie Galilée par la bouche de l'interlocuteur Sagredo, vos physiciens parviennent à rendre compte d'un grand nombre d'accidents et de phénomènes que nous voyons s'accomplir journellement dans la nature. Mais cette manière de philosopher a, selon moi, une grande analogie avec la manière de peindre qu'avait un de mes amis ; avec de la craie, il écrivait sur la toile : ici, je veux une fontaine avec Diane et ses nymphes, ainsi que quelques lévriers ; là, un chasseur avec une tête de cerf ; plus loin, une campagne, un bocage, une colline ; puis il laissait l'artiste peindre toutes ces choses et s'en allait convaincu qu'il avait peint la métamorphose d'Actéon ; il n'avait mis que des noms. »

Galilée, si sévère pour la sympathie que Képler attribuait à la Lune et aux eaux de la mer, ne parvenait pas à proscrire de sa physique toutes les qualités occultes ; il parlait encore de la gravité des corps ; un jour, cependant, Newton devait identifier la vertu spécifique que Galilée gardait dans ses raisonnements avec celle qu'il poursuivait de ses railleries.

#### IV.

Chasser entièrement les qualités de l'étude des choses matérielles, c'est le but et comme la caractéristique de la physique cartésienne.

Parmi les sciences, l'arithmétique seule est pure de toute notion empruntée à la catégorie de la qualité ; seule, elle est conforme à l'idéal que Descartes propose à la science entière de la nature.

Dès la géométrie, l'esprit se heurte à l'élément qualitatif, car cette science demeure « si astreinte à la consi-

dération des figures qu'elle ne peut exercer l'entendement sans fatiguer beaucoup l'imagination ». « Le scrupule que faisaient les anciens d'user des termes de l'arithmétique en la géométrie, qui ne pouvait procéder que de ce qu'ils ne voyaient pas assez clairement leur rapport, causait beaucoup d'obscurité et d'embarras dans la façon dont ils s'expliquaient. » Cette obscurité, cet embarras disparaîtront si l'on chasse de la géométrie la notion qualitative de forme, de figure, pour n'y conserver que la notion quantitative de distance, que les équations qui relient les unes aux autres les distances mutuelles des points que l'on étudie. Bien que leurs objets soient différents, les diverses branches des mathématiques ne considèrent en ces objets « autre chose que les divers rapports ou proportions qui s'y trouvent », en sorte qu'il suffit de traiter ces proportions en général par les voies de l'algèbre, sans se soucier des objets où elles se rencontrent, des figures où elles sont réalisées ; par là, « tout ce qui tombe sous la considération des géomètres se réduit à un même genre de problèmes, qui est de chercher la valeur des racines de quelque équation » ; les mathématiques entières sont ramenées à la science des nombres ; on n'y traite que des quantités, les qualités n'y ont plus aucune place.

Les qualités chassées de la géométrie, il les faut maintenant chasser de la physique ; pour y parvenir, il suffit de réduire la physique aux mathématiques, devenues la science de la seule quantité ; c'est l'œuvre que va tenter Descartes. « Je ne reçois point de principes en physique, dit-il, qui ne soient aussi reçus en mathématiques. »

Qu'est-ce, tout d'abord, que la matière ? « Sa nature ne consiste pas en la dureté, ni aussi en la pesanteur, chaleur, et autres qualités de ce genre, » mais seulement en « l'étendue en longueur, largeur et profondeur ». Ce n'est rien autre que cette matière « divisible, mobile et douée de figure que les géomètres nomment quantité, et qu'ils prennent pour objet de leurs démonstrations ». La matière



est donc quantité ; la quantité d'une certaine matière, c'est le volume qu'elle occupe ; un vaisseau renferme autant de matière, qu'il soit rempli de mercure ou rempli d'air. « Ceux qui prétendent distinguer la substance matérielle de l'étendue ou de la quantité, ou bien ne mettent aucune idée sous le nom de substance, ou bien ont l'idée confuse d'une substance immatérielle. »

Qu'est-ce que le mouvement ? Encore une quantité. Multipliez la quantité de matière que renferme chacun des corps d'un système par la vitesse qui anime ce corps ; ajoutez ensemble tous ces produits, et vous aurez la quantité de mouvement du système ; tant que le système ne heurtera aucun corps étranger qui lui cède du mouvement ou qui lui en emprunte, il gardera une quantité de mouvement invariable.

Ainsi, dans tout l'univers, est répandue une matière unique, homogène, dont nous ne connaissons rien sinon qu'elle est étendue ; cette matière est divisible en parties de diverses figures et ces parties peuvent se mouvoir les unes par rapport aux autres ; telles sont les seules propriétés véritables de ce qui forme les corps ; à ces propriétés doivent se ramener toutes les apparentes qualités qui affectent nos sens. Le but de la physique cartésienne est d'expliquer comment se fait cette réduction.

Qu'est-ce que la gravité ? L'effet produit sur les corps par des tourbillons de matière subtile. Qu'est-ce qu'un corps chaud ? Un corps « composé de petites parties qui se remuent séparément l'une de l'autre d'un mouvement très prompt et très violent ». Qu'est-ce que la lumière ? Une pression exercée sur l'éther par le mouvement des corps enflammés et transmise instantanément aux plus grandes distances. Toutes les qualités des corps, sans aucune omission, se trouvent expliquées par une théorie où l'on ne considère que l'étendue géométrique, les diverses figures que l'on y peut tracer et les divers mouvements dont ces figures sont susceptibles. « L'univers est une

machine en laquelle il n'y a rien du tout à considérer que les figures et les mouvements de ses parties. » Ainsi, la science entière de la nature matérielle est réduite à une sorte d'arithmétique universelle d'où la catégorie de la qualité est radicalement bannie.

## V.

Il serait difficile d'imaginer, à notre époque, l'enthousiasme extraordinaire qui accueillit la physique de Descartes. La physique, qui avait été jusque-là le domaine des entités obscures, des vertus occultes, des sympathies et des antipathies les plus étranges comme les plus stériles, devenait claire et ordonnée comme la géométrie ; les admirables découvertes que renfermaient la *Dioptrique* et les *Météores* étaient, d'ailleurs, de sûrs garants de la nouvelle méthode.

La vogue de cette physique, qui démontait l'univers aussi aisément qu'un horloger sépare les rouages d'une montre, qui expliquait le mécanisme de la nature aussi clairement que celui d'un moulin, s'étendit bien au-delà du cercle des savants, et le médecin de Molière était assuré de soulever le fou rire du parterre en invoquant la *virtus dormitiva* de l'opium.

Le principe qui servait de base à la physique cartésienne : tout, dans le monde matériel, s'explique par l'étendue et le mouvement, n'eut bientôt que de rares adversaires parmi les savants dignes de ce nom. Toutefois, si le principe demeurait incontesté, les applications que Descartes en avait faites ne tardèrent pas à être discutées.

Descartes avait déclaré infinie la vitesse de la lumière, ajoutant que sa physique serait renversée de fond en comble si cette assertion était controuvée ; Rømer démontrait que cette vitesse était finie, quoique très grande, et en faisait connaître la valeur ; aussi Huygens était-il contraint d'écrire, dans son *Traité de la Lumière* : « Il m'a

toujours semblé, et à beaucoup d'autres avec moi, que mesme M. Des Cartes, qui a eu pour but de traiter intelligiblement de la physique et qui assurément y a beaucoup mieux réussi que personne avant luy, n'a rien dit qui ne soit plein de difficulté, ou mesme inconcevable, en ce qui est de la lumière et de ses propriétés. »

Le même Huygens écrivait, en son *Discours de la cause de la pesanteur* : « M. Descartes a mieux reconnu que ceux qui l'ont précédé, qu'on ne comprendrait jamais rien davantage dans la Physique, que ce qu'on pourrait rapporter à des principes qui n'excèdent pas la portée de notre esprit, tels que sont ceux qui dépendent des corps, considérez sans qualitez, et de leurs mouvements. Mais comme la plus grande difficulté consiste à faire voir comment tant de choses diverses sont effectuées par ces seuls principes, c'est à cela qu'il n'a pas réussi dans plusieurs sujets particuliers qu'il s'est proposé d'examiner ; desquels est entre autres, à mon avis, celui de la Pesanteur. »

Parfois même Huygens, plus audacieux, va jusqu'à révoquer en doute les principes essentiels de la physique cartésienne. « Pour ce qui est du vuide, dit-il, je l'admets sans difficulté, et mesme je le crois nécessaire pour le mouvement des petits corpuscules entre eux, n'estant point du sentiment de M. Des Cartes qui veut que la seule étendue fasse l'essence du corps ; mais y ajoutant encore la dureté parfaite qui le rende impénétrable et incapable d'être rompu ni écrasé. »

La vogue même de la réforme cartésienne la comprometait en suscitant à Descartes une foule de disciples médiocres et ignorants, prompts à inventer les mécanismes les plus compliqués et les plus bizarres pour rendre compte de phénomènes qu'ils ne daignaient même pas étudier ; les tourbillons de matière subtile et les corpuscules cannelés ne se refusaient à aucune explication ; Descartes, d'ailleurs, avait prêché d'exemple, par sa hâte orgueilleuse à comprendre, dans son système, tous les effets de la nature.

Ces cartésiens, qui ne le cédaient guère en dévotion ridicule envers la parole du Maître aux docteurs scolastiques de la dernière décadence, Pascal les avait rencontrés en la personne du P. Noël, l'auteur du *Plein du Vuide*, le physicien qui définissait la lumière : « un mouvement lumineux des corps transparents qui sont mûs lumineusement par les corps lucides » ; aussi l'auteur des *Pensées* s'écriait-il : « Il faut dire en gros : cela se fait par figure et mouvement, car cela est vrai. Mais de dire quels et composer la machine, cela est ridicule ; car cela est inutile, et incertain, et pénible. Et quand cela serait vrai, nous n'estimons pas que toute la philosophie vaille une heure de peine. »

## VI.

Pascal n'allait pas jusqu'à révoquer en doute le principe même de la réforme cartésienne, jusqu'à rejeter la réduction de la physique entière à l'étude de la figure et du mouvement, jusqu'à proposer le retour aux qualités de l'École. Leibniz eut cette audace.

Leibniz avait rencontré de ces gens qui croyaient « presque aussy fort aux préceptes et aux sentiments de M. Des Cartes qu'à la parole de Dieu » ; qui remplaçaient l'étude de la nature par le commentaire des *Principes de la philosophie* ou du *Traité du monde*, comme les scolastiques par le commentaire des *Physiques* ; sans doute, la méchante humeur causée par l'étroitesse de tels esprits explique l'âpreté avec laquelle il sape les fondements de la philosophie cartésienne, âpreté telle qu'un de ses contemporains pouvait écrire, avec quelque apparence de justice : « Il y a longtemps qu'il semble que M. Leibniz veut établir sa réputation sur les ruines de celle de M. Descartes. » Mais pour combattre Descartes, Leibniz avait d'autres raisons, plus profondes et plus purement scientifiques.

En réduisant la matière à la seule étendue géométrique, Descartes réduisait par le fait même le mouvement au seul mouvement que connaissent les géomètres, au changement de position d'une figure par rapport à une autre figure, au mouvement *relatif*. Il le définit : « Le transport d'une partie de la matière, ou d'un corps, du voisinage de ceux qui le touchent immédiatement, et que nous considérons comme en repos, dans le voisinage de quelque autre. »

Lorsque deux corps s'éloignent ou se rapprochent l'un de l'autre, nous pouvons dire qu'un mouvement s'est produit dans le système de ces deux corps ; mais il nous est loisible d'attribuer ce mouvement exclusivement à l'un de ces deux corps, ou bien exclusivement à l'autre, ou bien encore de le partager entre eux ; toute attribution de mouvement à un corps suppose que l'on attribue le repos à un autre corps, pris comme terme de comparaison ; mais ces attributions sont arbitraires ; on est toujours libre de les renverser ; il n'y a pas de mouvement absolu.

C'est là une des conséquences essentielles du système de Descartes ; à ceux qui l'accusaient de ne chercher dans l'affirmation que tout mouvement est relatif qu'un biais pour éviter une condamnation semblable à celle de Galilée, le grand géomètre répondait dédaigneusement qu'ils ne comprenaient rien à sa philosophie.

Ce principe que tout mouvement est relatif, que le mouvement absolu est un non-sens, doit dominer la mécanique tout entière, pour quiconque admet la réduction de la matière à la seule étendue ; il domine, en effet, la mécanique cartésienne ; la loi fondamentale sur laquelle celle-ci repose, la conservation de la quantité de mouvement, s'accorde avec ce principe.

Malheureusement, la conservation de la quantité de mouvement est une loi inadmissible ; la mécanique cartésienne est fausse ; de toute nécessité, il la faut abandonner pour suivre les règles de la dynamique ébauchée par

Galilée, achevée par Huygens et Leibniz ; et cette nouvelle dynamique, acceptée sans conteste presque aussitôt que découverte, ne peut se contenter de l'hypothèse qui réduirait le mouvement au seul changement de position mutuelle des corps ; la notion de mouvement relatif ne lui suffit pas ; elle exige impérieusement que l'idée du mouvement absolu ait un sens, qu'elle corresponde à quelque chose de réel ; si la situation relative de deux corps a varié, il ne lui est pas indifférent d'attribuer à l'un ou à l'autre des deux corps le mouvement qui a produit cette variation ; si la distance du Soleil à la Terre a augmenté ou diminué, il ne lui est pas indifférent que ce soit par l'effet du mouvement de la Terre ou par l'effet du mouvement du Soleil.

« Tout cela fait connoître, déclare Leibniz, qu'il y a dans la nature quelque autre chose que ce qui est purement géométrique, c'est-à-dire que l'étendue et son changement tout nud. Et à le bien considérer, on s'aperçoit qu'il y faut joindre quelque notion supérieure ou métaphysique, sçavoir, celle de la substance, action et force. »... « Quoique je sois persuadé que tout se fait mécaniquement dans la nature corporelle, je ne laisse pas de croire aussi, que les principes mêmes de la mécanique, c'est-à-dire les premières loix du mouvement, ont une origine plus sublime que celle que les pures mathématiques peuvent fournir. ».... « Ainsi je trouve que dans la nature, outre la notion de l'étendue, il faut employer celle de la force qui rend la matière capable d'agir et de résister. ».... « Cette notion de la *force* est très intelligible, quoiqu'elle soit du ressort de la métaphysique. »

S'il y a dans la substance matérielle autre chose que l'étendue en longueur, largeur et profondeur, autre chose que la figure géométrique, il faut bien que ce quelque chose soit une vertu, une forme, appartienne, en un mot, à la catégorie de la qualité. « Je sçay que j'avance un grand paradoxe en prétendant de réhabiliter en quelque

façon l'ancienne philosophie et de rappeler *postliminio* les formes substantielles presque bannies. » ... « J'ay esté longtemps persuadé de la vanité de ces estres, que j'ay esté enfin obligé de reprendre malgré moy et comme par force, après avoir fait moy-même des recherches qui m'ont fait reconnoistre que nos modernes ne rendent pas assez de justice à saint Thomas et d'autres grands hommes de ce temps-là, et qu'il y a dans les sentiments des philosophes et théologiens scolastiques bien plus de solidité qu'on ne s'imagine, pourveu qu'on s'en serve à propos et en leur lieu. »

Non pas qu'il faille approuver la manière ridicule dont les scolastiques de la décadence traitaient la physique. « Je demeure d'accord que la considération de ces formes ne sert de rien dans le détail de la physique et ne doit point être employée à l'explication des phénomènes en particulier. Et c'est en quoy nos scholastiques ont manqué, et les médecins du temps passé à leur exemple, croyant de rendre raison des propriétés des corps en faisant mention des formes et des qualités, sans se mettre en peine d'examiner la manière de l'opération, comme si on voulait se contenter de dire qu'une horloge a la qualité horodictique provenante de sa forme, sans considérer en quoy tout cela consiste. »

Le physicien moderne se gardera, au contraire, de faire un appel direct aux qualités et aux formes substantielles pour expliquer les phénomènes qu'il étudie. Pour lui, tout ce qu'il y a de qualitatif en un corps se réunira, se condensera en une notion unique, celle de la force que ce corps exerce et subit ; au moyen de cette force, jointe à la figure et au mouvement, il devra rendre compte des phénomènes que nous présente la nature corporelle ; il devra donc les expliquer mécaniquement, mais sa mécanique renfermera un élément, la force, qui « est quelque chose de différent de la grandeur, de la figure et du mouvement », qui ne se peut réduire en entier à la catégorie de la quantité.

« Je conclus qu'il est important de rétablir la réputation de la philosophie de saint Thomas et de tant d'autres habiles gens dont les méditations, que les esprits populaires décrient, ont plus de solidité qu'on ne pense. » Quant à Descartes, « on oubliera bientôt le beau roman de physique qu'il nous a donné ».

## VII.

La voix de Leibniz retentit dans le désert.

Elle parlait au nom de la métaphysique, et les physiiciens avaient cessé de se soumettre à l'autorité de cette science pour ne plus suivre que la méthode expérimentale ; aussi leur attention était-elle tout entière fixée sur les admirables résultats que cette méthode fournissait à Newton ; mais, par une coïncidence étrange, la physique que Newton proposait au nom de l'induction expérimentale était exactement construite sur le plan que Leibniz avait tracé à la lumière de l'intuition métaphysique.

Comme le demande Leibniz, la physique de Newton repose entièrement sur l'emploi de ces trois notions : la matière, le mouvement, et la force, attractive ou répulsive, qui s'exerce entre les diverses parties des corps.

S'agit-il d'expliquer la chute des graves, les mouvements des planètes, des satellites et des comètes, le flux et le reflux de la mer ? Il suffit d'admettre que deux particules matérielles quelconques exercent l'une sur l'autre une force attractive proportionnelle au produit des masses qu'elle attire et en raison inverse du carré de la distance qui séparè ces masses. S'agit-il d'expliquer la réflexion et la réfraction des rayons de lumière ? Des forces exercées à petite distance par les corps polis ou transparents sur les projectiles ténus qui constituent la lumière fournissent l'explication demandée. Que sont les actions chimiques, la cohésion des solides, les phénomènes de



capillarité étudiés par Hawksbee? L'effet de forces attractives s'exerçant à petite distance entre les molécules des corps, suivant d'autres lois que l'attraction de gravité. Des actions moléculaires analogues, mais répulsives, engendrent le ressort des gaz. Les actions électriques et magnétiques, au contraire, plus semblables à la force de gravitation, sont sensibles même à une grande distance. Selon cette physique nouvelle, « la nature entière serait très simple et constamment d'accord avec elle-même ; effectuant, en effet, tous les grands mouvements des corps célestes par l'attraction de gravité, qui est mutuelle entre tous ces corps ; et presque tous les mouvements plus petits de ses particules par quelque autre force attractive et répulsive qui agit mutuellement entre ces particules ».

Que sont ces forces qui s'exercent à distance, grande ou petite, entre les diverses parties de la matière ? Question réservée au métaphysicien et dont, de l'avis de Newton comme de celui de Leibniz, le physicien n'a pas à se préoccuper ; il lui suffit d'avoir donné des phénomènes une explication où n'interviennent que les notions de matière, de mouvement et de force ; il n'a pas à pousser plus loin son analyse. C'est ce que Newton déclare formellement au moment de clore ses *Principes mathématiques de la philosophie naturelle* :

« Jusqu'ici, dit-il, j'ai rendu compte des phénomènes que nous offrent les cieux et la mer par le moyen de la force de gravité ; mais à cette gravité, je n'ai pas encore assigné de cause... Je n'ai pu, jusqu'à ce jour, tirer des phénomènes la raison d'être des propriétés de la gravité, et je ne fais point d'hypothèses. En effet, tout ce qui ne se peut déduire des phénomènes doit se nommer *hypothèse* ; et les hypothèses, qu'elles soient métaphysiques ou physiques, qu'elles invoquent les qualités occultes ou le mécanisme, n'ont point place en *philosophie expérimentale*. »

## VIII.

Cette manière de traiter la physique, si contraire aux habitudes imprimées dans les esprits par Descartes, semblait surprenante à ceux, nombreux encore à cette époque, qui suivaient le sentiment de ce philosophe ; la physique newtonnienne n'était-elle pas un retour mal dissimulé aux qualités occultes, aux sympathies et aux antipathies de l'École ? Est-ce expliquer un phénomène que l'attribuer à une action attractive ou répulsive dont la nature et l'origine demeurent inconnues ?

Je ne puis, déclare Huygens, admettre l'attraction mutuelle que Newton attribue aux petites parties des corps, « parce que je crois voir clairement que la cause d'une telle attraction n'est point explicable par aucun principe de mécanique, ni des règles du mouvement... Ce serait autre chose si on supposait que la pesanteur fust une qualité inhérente de la matière corporelle. Mais c'est à quoy je ne crois pas que M. Newton consente, parce qu'une telle hypothèse nous éloignerait fort des principes mathématiques ou mécaniques ».

« *Tout se fait dans le monde par la matière et le mouvement*, écrivent en 1746 Daniel et Jean II Bernoulli. Ce principe de Descartes a quelque chose de si frappant, et il paraît si clair au premier abord, qu'on peut s'étonner qu'il ait été contesté, je ne dirai pas par quelqu'un des anciens philosophes, mais par nos plus grands philosophes modernes, tels que Newton et un grand nombre d'autres que son autorité a entraînés, et qui tous ont introduit le principe de l'attraction mutuelle de la matière, existante et innée dans la matière même, et produite uniquement par la volonté immédiate et efficace de Dieu. Ce principe ne passe-t-il pas notre raison ? » Daniel et Jean Bernoulli ajoutaient modestement, il est vrai : « On aurait tort, cependant, de vouloir nier tout ce que l'entendement

humain a de la peine à comprendre, et dont la réalité ne laisse pas de se faire sentir par les effets. »

Un des disciples les plus scrupuleux et les plus logiques de Descartes, Gamaches, se montre encore plus sévère pour Newton : « Sentant que la physique le générerait sans cesse, dit-il, il la bannit de sa philosophie ; et, de peur d'être forcé de réclamer quelquefois son secours, il eut soin d'ériger en loix primordiales les causes intimes de chaque phénomène particulier ; par là, toute difficulté fut applanie, son travail ne roula plus que sur des sujets traitables qu'il scût assujettir à ses calculs : un phénomène analysé géométriquement devint pour lui un phénomène expliqué ; ainsi cet illustre rival de M. Descartes eut bientôt la satisfaction singulière de se trouver grand philosophe par cela seul qu'il était grand géomètre. »

Ces attaques ne demeuraient pas sans riposte.

A ceux qui l'accusaient de confondre l'exposition mathématique d'un phénomène avec l'explication de ce phénomène et de revenir par là aux déplorables errements des physiciens scolastiques, Newton répondait déjà, dans son *Optique* : « Expliquer chaque propriété des choses en les douant d'une qualité spécifique occulte par laquelle seraient engendrés et produits les effets qui se manifestent à nous, c'est ne rien expliquer du tout. Mais tirer des phénomènes deux ou trois principes généraux de mouvement ; expliquer ensuite toutes les propriétés et les actions des corps au moyen de ces principes clairs, c'est vraiment, en philosophie, un grand progrès, lors même que les causes de ces principes ne seraient pas découvertes ; c'est pourquoi je n'hésite pas à proposer les principes du mouvement, tout en laissant de côté la recherche des causes. »

D'ailleurs, les cartésiens sont-ils bien venus de reprocher à Newton le retour aux qualités occultes, de traiter la gravitation de cause occulte ? Qu'est-ce donc qu'une cause occulte ? Est-ce celle dont l'existence est clairement révélée par l'observation, encore que sa nature demeure

obscur ? N'est-ce pas plutôt celle que l'on imagine sans preuve, pour les besoins de sa cause ? Quels physiciens font le plus fréquent appel à de telles causes occultes ? Sont-ce les newtoniens, ou bien les tenants de l'École cartésienne, qui, au lieu de se livrer à l'étude expérimentale de la nature, feignent partout des tourbillons de matière subtile, insaisissables à tous les sens, traversant tous les corps, et toujours exactement doués des propriétés requises pour rendre compte des phénomènes les plus embarrassants ? « Leurs spéculations ne sont qu'un tissu d'hypothèses, malgré le soin qu'ils prennent de ne raisonner que selon les lois de la mécanique. Ce peut être une belle fable qu'ils nous content, mais ce n'est qu'une fable. » Ainsi s'exprime Roger Cotes, en présentant au monde savant la seconde édition des *Principes* de Newton.

## IX.

La fécondité de la physique newtonienne en assura le triomphe.

Tandis que le principe de la gravitation universelle, soumis à l'analyse mathématique par tous les grands géomètres du XVIII<sup>e</sup> siècle, fournissait la formule minutieusement précise des moindres inégalités des mouvements célestes, les mesures géodésiques, — l'un des plus beaux titres de gloire de l'Académie des Sciences de Paris, — donnaient raison à la théorie newtonienne de la figure de la Terre, en condamnant celle que Huygens avait tirée des tourbillons cartésiens.

Bientôt, les méthodes nouvelles remportèrent en physique terrestre des succès aussi éclatants qu'en mécanique céleste.

Newton avait émis l'hypothèse que les réflexions et réfractions de la lumière étaient dues aux actions que les corps exercent, à petite distance, sur les projectiles lumi-

neux ; cette hypothèse permettait à Laplace de retrouver non seulement les lois de la réflexion et les lois de la réfraction simple, mais encore les lois de la double réfraction du spath d'Islande, que Huygens avait rattachées à des idées proches de celles de Descartes.

Sur une hypothèse analogue, Laplace fondait une théorie de la chaleur qui rendait raison de tous les effets thermiques dont s'accompagne l'expansion et la contraction des gaz, et qui expliquait le véritable mécanisme de la propagation du son dans l'air.

Newton s'était demandé si l'ascension des liquides dans les tubes capillaires n'était pas due aux actions qui s'exercent à très petite distance entre les particules du tube et du liquide ; Clairaut, Jurin, Ségner, Young, essayaient de soumettre cette hypothèse au calcul, frayant la voie à Laplace qui la prenait pour base d'une théorie détaillée, minutieusement vérifiée par l'expérience.

Newton avait cherché à expliquer les phénomènes chimiques par des attractions d'affinité s'exerçant entre des substances différentes ; et, au commencement de ce siècle, dans son *Essai de statique chimique*, écrit dont la profondeur et la divination surprennent encore aujourd'hui, Berthollet s'efforçait de prouver que « les puissances qui produisent les phénomènes chimiques sont toutes dérivées de l'attraction mutuelle des molécules des corps, à laquelle on a donné le nom d'affinité, pour la distinguer de l'attraction astronomique ».

La cohésion des solides n'est-elle pas, elle aussi, l'effet des actions moléculaires qu'exercent les unes sur les autres les diverses parties des corps ? Newton avait simplement posé la question ; Boscovich y avait insisté ; et voici que Poisson, Navier, Cauchy, fondaient sur l'hypothèse de l'attraction moléculaire une théorie complète de l'élasticité des corps solides, l'une des plus belles de la physique mathématique.

Newton avait signalé l'analogie des actions électriques

et magnétiques avec l'attraction de gravité ; Tobie Mayer et Coulomb montraient que les lois de ces diverses actions s'expriment par des formules identiques et Poisson fondait sur cette découverte les théories mathématiques de l'électricité et du magnétisme, émules de la mécanique céleste par leur beauté, par leur fécondité, comme par leurs difficultés.

Enfin, à peine les phénomènes électromagnétiques et électrodynamiques étaient-ils découverts par Ørstedt et par Ampère, que celui-ci en ramenait l'explication à des actions mutuelles soumises aux règles fondamentales de la physique newtonienne.

Dans la trente-et-unième et dernière question de l'*Optique*, Newton avait tracé un audacieux programme, en indiquant que tous les phénomènes de la physique terrestre, comme tous les mouvements de la mécanique céleste, devaient s'expliquer par des attractions et des répulsions mutuelles exercées à distance ; et voilà que la réalité dépassait les plus téméraires prévisions de ce programme ! Aussi Poisson annonçait-il l'avènement de la « *Mécanique physique*, dont le principe unique serait de ramener tout aux actions moléculaires, qui transmettent d'un point à l'autre l'action des forces données et sont l'intermédiaire de leur équilibre ». Aussi Laplace écrivait-il : « Tous les phénomènes terrestres dépendent de ce genre de forces, comme les phénomènes célestes dépendent de la gravitation universelle. La considération de ces forces me paraît devoir être maintenant le principal objet de la philosophie mathématique. »

Mais que sont ces forces qui s'exercent à grande distance entre corps célestes, ou à petite distance entre molécules matérielles ? Sont-ce des propriétés essentielles et immédiates de la matière, irréductibles à aucun mécanisme, ou, au contraire, les effets d'un mécanisme encore inconnu ? Comme Newton, qui se contentait d'avoir établi par induction l'existence de l'attraction universelle et se

refusait à faire aucune hypothèse sur l'origine de cette force ; comme Leibniz, qui recommandait au physicien de ramener l'explication de tout phénomène à la matière, au mouvement et à la force, en laissant au métaphysicien le soin de pousser plus loin l'analyse de ces trois éléments, les plus illustres newtoniens se refusent à analyser les notions d'attraction et de répulsion à distance qu'ils introduisent dans leurs théories. « Je pense donc, écrit Boscowich, que deux points matériels quelconques sont également déterminés à s'approcher l'un de l'autre pour certaines valeurs de leur distance, ou à s'éloigner l'un de l'autre pour d'autres valeurs de cette distance, et cette détermination je l'appelle force, attractive dans le premier cas, répulsive dans le second. Par ce nom de force, je n'entends pas exprimer le mode d'action, mais simplement la détermination elle-même, d'où qu'elle provienne. » Laplace disait de même, au sujet du principe de la gravitation universelle : « Ce principe est-il une loi primordiale de la nature ? N'est-il qu'un effet général d'une cause inconnue ? Ici l'ignorance où nous sommes des propriétés intimes de la matière nous arrête et nous ôte tout espoir de répondre d'une manière satisfaisante à ces questions. »

## X.

Le début du xix<sup>e</sup> siècle marque l'apogée de la physique newtonienne.

Au moment même où cette doctrine arrive à son plein développement, les progrès de l'étude de la nature viennent la contredire en plus d'un point et bientôt certaines branches maîtresses de la physique poussent dans un autre sens que celui où le xviii<sup>e</sup> siècle les avait dirigées.

C'est d'abord l'optique, qui rejette l'hypothèse de l'émission et que Young et Fresnel construisent sur un plan nouveau, en reprenant l'hypothèse des ondulations, émise

par le cartésien Huygens. C'est ensuite la science de la chaleur, qui abandonne la théorie du calorique, devenue, grâce à Laplace, l'une des applications les plus fécondes de la doctrine des actions moléculaires, pour attribuer les effets de la chaleur aux mouvements petits et rapides des dernières parties des corps. Ces évolutions, dont nous avons retracé l'histoire (1), ramenaient les esprits dans une voie peu différente de celle qu'avait tracée Descartes.

Toutefois, si puissante et si durable avait été l'influence des idées newtoniennes, que les physiciens, tout en modifiant profondément certaines parties de la physique théorique, demeurent fidèles aux principes fondamentaux sur lesquels reposait la doctrine de l'attraction.

Young et Fresnel proposent une optique qui est comme le développement naturel de l'optique du cartésien Huygens ; mais lorsqu'il s'agit d'expliquer les propriétés élastiques de cet éther dont les ondes propagent les vibrations lumineuses, Fresnel le suppose formé de points matériels qui s'attirent les uns les autres à petite distance, et Cauchy met au service de cette hypothèse la prodigieuse puissance de son analyse.

Sadi Carnot, Robert Mayer, Joule, Colding, Helmholtz, admettent, comme Descartes, que la chaleur consiste essentiellement en un mouvement des particules ultimes des corps ; mais Clausius ne peut donner à leurs idées une forme systématique qu'en faisant intervenir dans ses raisonnements le travail effectué par les actions moléculaires.

La renaissance de la théorie mécanique de la chaleur remet en vogue l'explication purement cinétique des propriétés des gaz que l'École cartésienne des Bernoulli avait conservée et développée en Suisse, alors que la physique newtonienne triomphait dans toutes les acadé-

(1) Voir la REVUE DES DEUX MONDES des 1 mai 1894, 15 juin, 15 juillet et 15 août 1895.



mies d'Europe ; mais cette explication même ne peut éviter l'intervention des actions moléculaires, et Maxwell doit les invoquer pour éviter les désaccords de la théorie et de l'expérience.

Aussi, parmi ceux-là mêmes qui contribuèrent le plus largement au développement de la théorie mécanique de la chaleur, trouvons-nous bon nombre de newtoniens convaincus ; certains, tels qu'Athanase Dupré et Hirn, suivant en cela l'exemple de plusieurs philosophes du XVIII<sup>e</sup> siècle, n'hésitent pas à regarder les attractions et répulsions mutuelles des molécules comme des propriétés premières, irréductibles et essentielles de ces molécules.

Néanmoins, bien que l'optique et la théorie de la chaleur, en abandonnant les corpuscules lumineux et le fluide calorifique, ne se fussent pas entièrement débarrassées des forces qui s'exercent à distance, ce retour partiel à la physique cartésienne devait entraîner une réaction contre l'hypothèse des attractions et des répulsions. De nouveau, un grand nombre de philosophes et de physiciens conçurent le désir de réduire tous les phénomènes du monde inorganique à la matière et au mouvement, sans faire intervenir aucune qualité, aucune force primordiale, aucune affinité ; de nouveau, le pur mécanisme tenta de rejeter le dynamisme. Des tentatives pour expliquer, sans aucune action à distance, la gravitation universelle, les propriétés de l'éther lumineux, les phénomènes électriques ou magnétiques se succédèrent sans interruption pendant de longues années ; ces tentatives étaient souvent ingénieuses, mais elles étaient stériles ; elles expliquaient laborieusement les lois connues, sans en révéler de nouvelles ; aussi, aucune d'entre elles ne parvint-elle à réunir l'assentiment d'une grande école de physiciens, jusqu'au jour où d'admirables découvertes, faites par Helmholtz dans le domaine de l'hydrodynamique, vinrent donner aux doctrines mécanistes une énergique impulsion.

Cauchy a montré que l'on pouvait se représenter très simplement la modification éprouvée, pendant une durée infiniment courte, par une très petite partie d'un corps qui se meut en se déformant d'une manière quelconque. Cette modification résulte toujours de trois modifications plus simples : en la première, la particule matérielle subit une déformation qui la dilate inégalement suivant trois directions rectangulaires convenablement choisies ; en la seconde, elle tourne d'un très petit angle autour d'une certaine droite, menée par son centre de gravité, et que l'on nomme son *axe instantané de rotation* ; en la troisième, sans changer de forme ni d'orientation, elle se transporte d'une très petite longueur dans une direction déterminée. De ces trois espèces de modifications : dilata-tions, rotation, translation, une ou deux peuvent faire défaut ; par exemple, telle ou telle particule de la masse étudiée peut n'éprouver aucune rotation. Lorsque le mouvement infiniment petit d'une particule comporte une rotation instantanée, on le nomme *mouvement tourbillonnaire*.

Les mouvements tourbillonnaires des fluides sont doués d'étranges propriétés.

Considérons un fluide, gaz ou liquide, que nous supposons dénué de toute viscosité, et imaginons que ce fluide soit en mouvement. Si, à un instant quelconque du mouvement, une particule de ce fluide est privée de mouvement tourbillonnaire, elle en sera privée pendant toute la durée du mouvement ; si, au contraire, elle est douée de rotation, à aucun moment cette rotation ne pourra ni s'arrêter, ni changer de sens.

Il y a plus. Prenez une particule animée d'une rotation instantanée et prolongez hors de sa masse l'axe autour duquel elle tourne ; cet axe va rencontrer une nouvelle particule, contiguë à la première et tournant dans le même sens qu'elle autour d'un axe peu différent du premier ; on peut ainsi, à partir d'une première particule tourbillonnante, déterminer de proche en proche une file de parti-

cules semblables : on dirait d'un collier de perles, toutes enfilées dans un même brin de soie, autour duquel elles tourneraient ; parmi ces perles, les unes, plus grosses, tournent plus lentement ; les autres, plus menues, sont animées d'un mouvement de rotation plus rapide ; mais toutes tournent dans le même sens. Tantôt le brin de soie idéal qui relie ces perles tourbillonnantes traverse de part en part la masse fluide, pour ne se terminer qu'aux surfaces qui la limitent ; vous avez alors un *tube-tourbillon* ; tantôt il vient se fermer sur lui-même, en un collier flexible ; vous avez, dans ce cas, un *anneau-tourbillon*.

Lorsqu'un fluide sans viscosité renferme un tube-tourbillon ou un anneau-tourbillon, la masse fluide qui compose, à un instant donné, ce tube ou cet anneau, est aussi celle qui le composera indéfiniment ; le brin de soie qui relie entre elles les perles tourbillonnantes a beau n'être qu'un fil idéal ; c'est aussi un fil incassable ; il peut se déformer et se déplacer, le tube ou l'anneau peut s'infléchir, onduler, parcourir la masse fluide en tout sens ; le fil ne peut se couper ; chacune des perles qui composent le tube ou l'anneau est invinciblement liée à ses compagnes.

Semez ces étranges anneaux-tourbillons au sein d'un fluide privé de mouvements tourbillonnaires ; vous les verrez s'approcher ou s'éloigner les uns des autres comme si des forces, exercées à distance, les sollicitaient : forces fictives, qui ne sont que l'effet apparent des pressions engendrées par les tourbillons dans le fluide interposé ; les formules qui régissent ces forces ont d'étroites analogies mathématiques avec les lois électrodynamiques établies par Ampère.

Ces propositions surprenantes n'ont rien d'hypothétique ; ce sont des *théorèmes*, que des déductions rigoureuses font sortir des principes de l'hydrodynamique ; établir ces propositions certaines, c'est le rôle auquel s'était borné l'esprit logiquement prudent de Helmholtz.

L'imagination audacieuse de W. Thomson fit jaillir de ces théorèmes une physique nouvelle.

Que l'espace soit rempli d'un éther fluide, dénué de viscosité ; que d'innombrables anneaux-tourbillons, formés de ce même fluide, flottent dans le reste de l'éther que n'anime aucun mouvement tourbillonnaire ; chacun de ces anneaux-tourbillons, chacun de ces *vortex*, sera un système matériel invariable de masse, insécable, éternel, en un mot un *atome*. Les dimensions, les formes, les vitesses de rotation de ces divers anneaux-tourbillons peuvent offrir une infinie variété ; il pourra donc y avoir une infinité d'espèces d'atomes et les chimistes ne devront plus s'étonner si l'expérience leur révèle chaque jour un nouveau corps simple. Ces vortex s'approcheront ou s'éloigneront les uns des autres comme si des actions s'exerçaient à distance de l'un à l'autre ; ces actions seront des forces fictives, l'effet des pressions que les anneaux-tourbillons engendrent dans l'éther ambiant. Ainsi se trouvera constitué un monde formé d'une matière une, sans qualité, capable seulement de figure et de mouvement, le monde que réclamaient les cartésiens.

« Mais, disait Huygens, la plus grande difficulté consiste à faire voir comment tant de choses diverses sont effectuées par ces seuls principes. » Aussi W. Thomson, Tait, Maxwell, Lodge se sont-ils efforcés de déduire de l'hypothèse *gyrostatique* la théorie de la lumière, les lois fondamentales des actions chimiques, l'explication des phénomènes électriques et magnétiques ; ce sont, en effet, les physiciens britanniques qui ont surtout contribué au développement de la doctrine des *vortex* ; leur intelligence, plus apte à imaginer le fonctionnement de mécanismes compliqués qu'à concevoir des qualités accessibles à la seule abstraction, en faisait les apôtres naturels de ce cartésianisme nouveau.

Sont-ils parvenus à le transformer en une théorie complète, reliant d'une manière logique les diverses branches de la physique qui avaient invoqué jusque-là l'hypothèse des actions à distance ? Force est de recon-

naître que leurs efforts sont loin d'avoir atteint cet idéal ; les applications qu'ils ont pu faire de la théorie des tourbillons se présentent sous forme d'aperçus isolés, sans lien les uns avec les autres ; chacun de ces aperçus présente plutôt des analogies avec une partie de la physique, en forme plutôt un *modèle mécanique*, selon le mot cher aux physiciens anglais, qu'il n'en constitue une véritable théorie, classant l'ensemble des lois expérimentales en une suite rigoureusement logique et parfaitement ordonnée.

Comme le cartésianisme primitif, ce cartésianisme nouveau séduit par la simplicité et l'ampleur de ses hypothèses premières ; mais, comme lui, il ne tarde pas à rebuter l'esprit par la complication, par la bizarrerie, par l'allure arbitraire et peu naturelle, par l'invraisemblance des combinaisons qui lui servent à « construire la machine du monde ». Un sentiment invincible nous avertit que la matière ne saurait être faite comme l'imagine W. Thomson ou Maxwell, et nous sommes tentés de nous écrier avec Pascal : « Tout cela est ridicule ; car tout cela est inutile, et incertain, et pénible. » Aussi la doctrine des vortex a-t-elle rencontré peu de partisans parmi les physiciens du continent ; Helmholtz, dont les travaux l'avaient engendrée, n'a jamais consenti à l'adopter.

Le dynamisme newtonien, le système de l'action à distance, plus heureux que le cartésianisme, suffit-il à tous les besoins de la physique moderne ? Sans parler des difficultés insurmontables, ou tout au moins insurmontées, auxquelles il se heurte en élasticité et en optique, le dynamisme, aussi bien que le pur mécanisme cartésien, demeure frappé d'impuissance lorsqu'il s'agit de rendre compte de l'une des lois dominantes de la science moderne, de la loi qui porte les noms de Carnot et de Clausius ; les deux doctrines qui, pendant deux cent cinquante ans, se sont disputé le champ de la physique, ne se peuvent plier aux idées nouvelles introduites par la thermodynamique.

## XI.

M. H. Poincaré est l'un des géomètres qui ont le plus contribué à mettre en lumière cette vérité : le dynamisme de Leibniz, de Newton et de Boscowich, comme le mécanisme pur des cartésiens, est incompatible avec la thermodynamique. Certains penseurs se sont effrayés d'une conclusion qui aboutissait « au renversement de la grande réforme d'où est sortie la physique moderne et à la restauration plus ou moins dissimulée des anciennes qualités occultes ». A quoi M. H. Poincaré s'empresse de répondre : « Je n'ai jamais eu la pensée de restaurer les qualités occultes... »

D'autres physiciens, plus audacieux, vont jusqu'au bout de la conclusion devant laquelle l'illustre géomètre semble se dérober. Oui, disent-ils avec Rankine, le pur mécanisme cartésien, qui attribue à la matière la figure et le mouvement, mais lui refuse toute qualité, est frappé de stérilité ; oui, le système dynamiste, formulé philosophiquement par Leibniz et réalisé pratiquement par Newton, le système qui veut condenser en un seul élément, la force, tout ce qu'il y a de qualitatif en la matière, n'est pas assez souple pour se plier aux lois essentielles de la physique actuelle ; il nous faut donc admettre que la matière peut posséder des qualités diverses, non réductibles à la figure et au mouvement, qualités dont le physicien peut constater l'existence et étudier les effets, mais qu'il ne peut expliquer, qualités qui doivent être les éléments ultimes de ses théories, qui demeureront pour lui *occultes*, mais qui n'en seront pas moins très certainement et très exactement connues. Lorsqu'un corps nous paraît chaud, ce n'est pas qu'il renferme un fluide particulier ou que ses molécules soient animées d'un certain petit mouvement ; c'est qu'il possède une certaine qualité, à un certain degré d'intensité ; qualité dont la nature intime nous demeure inconnue, mais dont

l'existence et les modifications se révèlent avec une précision minutieuse à la méthode expérimentale; c'est cette qualité que nous nommons *chaleur*; la lumière n'est pas un état vibratoire de l'éther, c'est une qualité; l'aimantation est une qualité, l'électrisation en est une autre.

Non pas qu'il faille, à l'imitation de certains scolastiques, attribuer chaque nouveau phénomène à une nouvelle qualité irréductible, à une nouvelle propriété essentielle de la matière. En présence d'un phénomène inconnu jusqu'alors, le physicien se demandera d'abord s'il n'est pas un effet nouveau d'une qualité déjà découverte; il emploiera toutes les ressources de la méthode expérimentale pour faire rentrer le fait qui vient d'être mis en lumière dans les cadres déjà établis; mais, lorsque des tentatives sagement conduites, longuement et ingénieusement variées, n'auront pu obtenir cette réduction, il n'hésitera plus à voir dans le phénomène étudié la manifestation d'une nouvelle qualité première.

Lorsque les chimistes donnent à un corps le nom de *simple*, ce n'est pas qu'une analyse philosophique leur ait fait reconnaître que la matière de ce corps ne provenait point de l'union d'autres substances; ils le nomment corps simple parce que ni la chaleur, ni le courant électrique, ni l'étincelle, ni les réactifs variés n'ont pu, jusqu'à ce jour, le décomposer; en sorte que cette désignation est toute provisoire et qu'un corps, simple aujourd'hui, peut être composé demain. De même, ce que les physiciens nomment qualité *première*, c'est une qualité que la méthode expérimentale n'a pu, jusqu'ici, réduire à quelque autre; mais cette réduction, actuellement impossible, peut être, dans un avenir plus ou moins éloigné, l'effet d'une théorie audacieuse ou d'une expérience heureuse; la lumière et l'électricité désignent aujourd'hui deux qualités distinctes; un jour, peut-être, elles ne seront plus regardées que comme deux manifestations diverses d'une même qualité.

En réintégrant la chaleur, la lumière, l'électricité, le

magnétisme, dans la catégorie de la qualité, les physiciens vont-ils se priver du langage mathématique, si précis, si concis, qui a apporté dans les raisonnements de la physique tant d'ordre et de clarté, qui a si puissamment aidé aux admirables développements de cette science ? Non pas. Sans doute, la chaleur, la lumière, l'électricité, le magnétisme, exclus de la catégorie de la quantité, ne seront plus des *grandeurs*, ne se *mesureront* plus ; les nombres n'en fourniront pas moins des symboles aptes à représenter les divers états de chacune d'elles et l'échelle des nombres offrira de commodés repères pour désigner le degré de son intensité ; le physicien notera cette intensité comme l'examineur, par des chiffres, note l'instruction d'un candidat, sans prétendre la mesurer ; aux qualités qu'expriment ces mots : être chaud, être lumineux, être aimanté, être électrisé, correspondront des nombres symboliques qui se nommeront température, intensité lumineuse, intensité magnétique, quantité d'électricité ; la chaleur, la lumière, le magnétisme, l'électricité, qui sont des qualités, échappent aux prises de l'algèbre ; mais la température, l'intensité lumineuse, l'intensité magnétique, la quantité d'électricité, qui sont des nombres, seront régies par cette science ; les lois de la physique, qui portent sur des qualités, s'exprimeront fidèlement par des formules algébriques, et la quantité pure, le *nombre entier*, sera l'élément ultime de la langue qui servira à décrire le monde des qualités.

Les théories mathématiques ainsi constituées n'ont plus, comme les théories cartésiennes, la prétention d'expliquer les lois découvertes par la méthode expérimentale, en remontant de cause en cause jusqu'aux éléments métaphysiquement simples et irréductibles des choses matérielles ; la qualité, provisoirement regardée comme qualité première, à laquelle elles ramènent un groupe de propriétés, elles ne l'analysent pas ; elles se contentent de la désigner par un nom, d'en noter l'intensité par un nombre qui croît ou décroît en même temps que cette intensité



s'exalte ou s'atténue ; elles laissent au métaphysicien le soin d'aller au delà ; elles ne se piquent pas de savoir ce qu'est la lumière, ce qu'est la chaleur, ce qu'est l'électricité, mais seulement quels effets sont attribuables à la lumière, quels à la chaleur, quels à l'électricité ; le mot même d'explication a pris pour elles un sens nouveau. « Voulez-vous rendre raison d'un phénomène compliqué ? Exposez-le géométriquement ; vous aurez tout fait. » C'est ainsi que Gamaches résumait ironiquement la méthode de Newton ; c'est ainsi que l'on pourrait définir fidèlement ce qu'un physicien moderne entend par expliquer un phénomène ; marquer sa place dans la classification logiquement ordonnée et exprimée en langage mathématique que l'on nomme *physique théorique*, c'est le terme de ses efforts.

La physique, développée selon les idées de Descartes ou de Newton, était dominée par une science plus élevée, la mécanique, dont les lois étaient la règle suprême de ses théories. Si l'explication des phénomènes physiques ne se réduit pas, en dernière analyse, aux notions de matière, de mouvement et de force, la mécanique n'est plus la suprême gardienne des principes généraux de la physique. Devons-nous donc renoncer à constituer une science très haute et très générale qui fournirait à chacune des branches de la physique le moule où se doivent couler ses théories ? Non pas. Mais il faut que cette science, plus large que l'ancienne mécanique, cesse d'être consacrée à la seule étude du mouvement local, pour embrasser les lois générales de toute transformation des choses matérielles, les lois du *mouvement physique* entendu au sens large d'Aristote ; il faut qu'elle traite non seulement du changement de lieu dans l'espace, mais encore de tout mouvement d'altération, de génération et de corruption. Or, cette science n'est plus à créer ; les grandes lignes en sont déjà marquées ; elles ont été tracées par les physiciens de ce siècle qui, en cherchant à réduire la chaleur au mouvement, sont parvenus à condenser les branches

les plus diverses de la physique en une science unique qu'ils ont nommée la *Thermodynamique*, que Rankine, affirmant le premier son rôle nouveau, nommait l'*Énergétique*. Les formules de la thermodynamique renferment les lois du mouvement local, du mouvement qui fait tomber les graves et accomplir aux astres leurs révolutions, du mouvement qui agite les solides, les liquides et les gaz, donnant naissance aux ouragans du ciel, aux lames de l'océan, comme aux accords de l'orgue ou de la harpe ; mais elles renferment aussi les lois de tout mouvement physique : mouvement par lequel les qualités paraissent ou disparaissent, augmentent ou diminuent d'intensité, par lequel un corps s'échauffe ou se refroidit, s'aimante ou se désaimante ; mouvement par lequel tout un groupe de qualités cède la place à un groupe de qualités différentes, par lequel un corps solide devient fluide, par lequel un liquide se transforme en vapeur ; mouvement par lequel les corps simples s'unissent pour composer les mixtes, par lequel les mixtes se résolvent en leurs éléments, par lequel les corps se dissolvent les uns dans les autres, par lequel les combinaisons chimiques s'engendrent et se dissocient.

Cette science, dont la construction paraît être le grand œuvre des physiciens du xix<sup>e</sup> siècle, comme la construction de la dynamique a été le grand œuvre des physiciens du xviii<sup>e</sup> siècle, c'est vraiment la *Physique* dont Aristote avait esquissé les grandes lignes ; mais c'est la physique d'Aristote développée et précisée par les efforts des expérimentateurs et des géomètres, efforts continués sans relâche depuis près de trois siècles. — C'est la physique d'Aristote, mais c'est aussi la physique de Descartes ; car c'est à Descartes qu'elle est redevable de l'usage général des nombres non seulement pour mesurer la grandeur de toutes les quantités qu'elle considère, mais encore pour graduer l'intensité de toutes les qualités qu'elle emploie ; usage qui réalise vraiment la *mathématique universelle* rêvée par le grand philosophe du xvii<sup>e</sup> siècle.

— C'est aussi la physique de Képler, de Galilée, de Pascal et de Newton ; car Képler, Galilée et Pascal lui ont donné la méthode qui permet de transformer les indications des instruments en lois exprimées par des formules algébriques ; car Newton lui a enseigné l'art de réunir et d'ordonner les lois en théories. — C'est encore la physique d'Euler, de Lagrange, de Laplace, de Poisson, de Green, de Gauss ; car ces grands géomètres ont créé les formes mathématiques qui lui permettent d'énoncer ses principes et d'en déduire les conséquences. — C'est enfin la physique de Robert Mayer, de Sadi Carnot, de Joule, de Thomson, de Clausius, de Helmholtz ; car elle leur doit les idées nouvelles qui l'ont formée en élargissant l'ancienne mécanique.

Impatient de quitter le champ où la physique de l'École le tenait enfermé, l'esprit humain a employé trois siècles et des milliers de savants à se frayer une route vers la science véritable du monde matériel. La direction de cette route a changé bien souvent et, aujourd'hui, nous constatons avec étonnement qu'elle se ferme sur elle-même et nous ramène au point de départ. Et cependant, dans cet immense labeur, il n'est pas un travailleur dont l'œuvre ait été perdue ; non pas que cette œuvre ait toujours servi à quoi son auteur la destinait ; le rôle qu'elle joue dans la science d'aujourd'hui diffère souvent du rôle qu'il lui attribuait ; elle a pris la place qu'avait marquée d'avance Celui qui mène toute cette agitation.

---

## INDEX

- aberration of light, 186
- abstraction, 120
- accidents, 198
- action-at-a-distance, 63-81, 227-28
  - corpuscular theory of, 79-80; *see also* attraction, universal
- affinity, chemical, 62
- Alembert, J. d', 76
- algebra, 124
- Ampère, A.M., 9, 38, 76, 110, 124-26, 133, 193, 221, 226
- analysis, mathematical, 123
- analytical mechanics, 77
- angelic intelligence, 87
- Aquinas, Thomas, 101, 202-03, 214-15
- Arago, F., 159-60, 163
- Archimedes, 102
- Aristotle, 73, 85, 100-01, 107, 198, 200, 202-03, 232-33
- artist (painter), 18-19, 129-30, 142
- astronomical hypotheses, 100-02
- astronomy, ancient, 85
- atoms, chemical, 55-57, 61-62
- atoms, Leray's notion of, 44-49, 60-61
- attraction (and repulsion), molecular, 30, 54, 77, 220, 224
- attraction, universal, 48, 60-62, 70-80, 109-10, 192-93
- attractionists, 80
- automaton, 22, 36
  
- Bacon, F., 104, 151, 203-05
- Bacon's method, ineptness of, 204-05
- Bernard, C., 151
- Bernoulli, D., 217
- Bernoulli, J., 82, 223
- Bernoulli, J. II, 217
- Berthollet, C.L., 220
- Bertrand, J., 144
- Biot, J.B., 61, 159, 162
- body, simple, 230
- Boileau, N., 40
- Bojanus, L.H., 134
- Boltzmann, L., 131
- Boscovich, R.J., 40, 42, 47, 54, 75, 220, 222, 229
- Bouvier, E.L., 134
- Brillouin, M., 80, 113
  
- capillarity, 81, 192-93, 220
- Carnot, S., 19, 22, 223, 228, 234
- Cartesian cosmology, 105
  - idea of matter, 64-65
  - metaphysics, 26
  - physics, 207-11
- Cartesianism, 45
  - new, 228
- Cartesians, 67
- categories, Aristotelian, 198
- Cauchy, A.L., 24, 26, 29, 32, 54, 61, 76, 79, 81, 126, 220, 223, 225
- cause, intelligible, 69
- cause-effect relation, 89
- causes, search for, 71-72, 78, 100-01, 104, 218
- certainty of physical experiment, 175-79
  - of immediate knowledge, 175, 179
- chemical affinity, 62
- chemical elements, 56-57, 62
- choice among physical theories, 31, 135-37, 187
- Clairaut, A.C., 76, 220
- classification, artificial, 137
  - natural, 135-37
- Clausius, R., 139, 223, 228, 234
- cohesion, 62
- Colding, L.A., 223
- collisions, elastic, 49, 65, 70
- common sense, 181, 184-85, 194; *see also* facts and knowledge
- continental mind in physics, 119-29, 133-45
  - ability to generalize, 142
  - deductive, 127-28, 140, 142
  - prudent, 139
  - timid, 138
  - unimaginative, 129
  - uninventive, 140
- contradictions in physical theory, 135-36
- Copernicus, N., 8, 64, 102-03
- corrections in measurements, 173-74
- cosmology, 72, 79, 85-86, 101, 107
- Cotes, R., 219
- Coulomb, C.A., 76, 110, 221
- creation, 50
- Creator, 47, 74, 106, 187; *see also* God
- credulity, 30

- criteria of physical theory, 31  
 Crookes, W., 139  
 crucial experiment, impossibility of, 161-64  
 current of conduction, 125  
   —of displacement, 125
- Darwin, C., 115  
 definitions, 3-6  
 Democritus, 67  
 demonstration, 67  
 Descartes, R., 24, 26, 40, 42, 45, 64-69, 72, 74-76, 104-08, 111, 119-21, 126, 128, 144, 206-07, 209-11, 217-18, 220, 223, 232-33  
 Dickens, C., 115  
 Diderot, D., 201  
 displacement current, 125  
 dogmatism, 98  
 double refraction, theory of, 32  
 Duhem, P., 53, 73, 79-80, 84, 108, 121, 132, 136, 152, 223  
 Dumas, M., 56  
 Dupré, A., 80, 224
- Edison, T.A., 38  
 elasticity, 53-54  
 electromagnetic theory of light, 118  
   —of Maxwell, 125-26, 130  
 empirism, 1-2  
 energetics, 233  
 energy, conservation of, 142  
 English mind in physics, 113-45  
   —arbitrary in its use of mathematics, 122-26  
   —bold, 138-39  
   —disdainful of logic, 115  
   —fond of paradoxes, 138  
   —imaginative, 115, 122  
   —inventive, 140  
   —model-builder, 116-19  
 éon, Leray's notion of, 49-51  
 equivalence of physical theories, 27-29  
 errors in physical experiments, 171-74  
 essence of things, 86-88, 105  
 ether, 17, 32, 49-54, 121, 227  
 Euler, L., 26, 76, 234  
 exactness of physical experiments, 179-81  
 experiment and direct knowledge of facts, 175-79  
   —as application of physical law, 155  
   —as approximation, 167-71  
   —as proof of physical law, 155-56  
   —as interpretation of facts, 147-50, 153, 166-67, 175  
   —different from constataion of facts, 175-79  
   —its certitude, 178-79  
   —its errors, 171-74  
   —its precision, 167-71, 179-81  
   —its result: abstract judgment, 165-67  
   —its role in physical theory, 33-34; *see also* facts  
 experimental method, 91, 137  
 experimental physics, 147-97  
 explanation, 77, 104, 127
- facts, 1, 13, 29, 85, 93, 175  
   —direct knowledge of, 175  
   —ethical respect for, 29  
   —versus infinity of theories, 169; *see also* experiment  
 Faraday, M., 38, 82, 114, 117  
 fluid, primordial, 49  
 force, 70, 213, 216, 220-22, 224  
 Foucault, L., 159-60, 162-63  
 French mind in physics, *see* continental mind  
 Fresnel, A.J., 24, 31, 39, 43, 54, 76, 126, 162, 176, 222-23
- Galileo, Galilei, 64, 72, 104, 107, 205-06, 212-13, 234  
 gas, compressibility of, 148-49, 174  
 gas theory, 12-13  
   —kinetic, 60, 129, 223  
 Gamaches, E.S. de, 72, 218, 232  
 Gauss, K.F., 76, 81, 116, 124, 234  
 Gay-Lussac, L.J., 13  
 German mind in physics, *see* continental mind  
 Gilbert, W., 64  
 God, interventions by, 50, 75  
 Gramme, Z., 38  
 gravitation, 60-62, 68, 208; *see also* attraction, universal  
 Green, G., 234
- harmony, pre-established, 47, 75  
 Hawksbee, F., 216  
 heat, 3-4, 57-60, 205  
   —Leray's theory of, 58-59  
   —mechanical theory of, 20, 23-24, 223  
   —quantity of, 24  
 Helmholtz, H. von, 141-43, 223-24, 226, 228, 234  
 Heraclitus of Pontus, 101  
 Hertz, H., 126  
 Hirn, G.A., 80, 224  
 history as criterion of physical theory, 233-34  
   —of mechanistic theories, 24-27  
   —of scientific method, 100-12

- Huygens, Chr., 17, 24, 26, 67, 69, 74, 76,  
 108, 111, 120, 162-63, 209-10, 213, 217,  
 219-20, 223, 227  
 hydrodynamics, 224, 226  
 hypotheses, 6-10, 14-15, 102, 216, 218-19  
   —choice of, 7-9, 28, 31  
   —purely representative, 101-04  
  
 ideal method, 8, 19  
 imagination, 115; *see also* English mind  
 impenetrability, 47, 65  
 incoherence, 133-35  
 intensity, 201, 231  
 intelligence, angelic, 87  
 interpretation of facts, 154; *see also* physical  
   experiment  
 inventions, 140  
  
 Joule, J., 223, 234  
 Jurin, J., 220  
  
 Kant, I., 75  
 Kepler, J., 9, 64, 66, 78-79, 104, 110, 206,  
   234  
 Kepler's laws, 9, 110  
 Kirchoff, G., 38, 142  
 Kirwan, C. de, 108  
 knowledge, direct, of facts, 1, 86  
   —*and* physical experiment, 175-79  
   —its precision, 179-81  
  
 Lagrange, J.L., 26-27, 76-77, 81, 183, 234  
 Lamé, G., 32, 54  
 Laplace, P.S., 24, 26, 29, 73, 76-77, 81,  
   109, 111, 124, 126, 128, 133, 159-60,  
   173, 183, 220-23, 229, 234  
 laws, empirical, 78  
   —of common sense knowledge, 181-84,  
   195  
   —of experience, 2  
 laws of physics, 181-97  
   —*as* approximations, 184-88  
   —*as* symbolic relations, 181-84, 190-91  
   —provisional, 188-93  
   —their certainty, 194-96  
 least action, principle of, 142  
 Leibnitz, G.W., 40, 46, 56, 65, 73, 75-76,  
   79, 211, 213, 215-16, 222, 229  
 Leray, A., 40-63, 80, 82, 121  
 Lesage, G., 48, 79-80  
 light, corpuscular theory of, 158-60, 162-  
   63, 176  
   —mechanical theory of, 17  
   —physical theory of, 16  
   —polarization of, 156  
   —wave theory of, 159-60, 162-63, 176,  
   222-23  
  
 lines of force, 116  
 Lodge, O., 113-14, 121, 139, 227  
 logic as chain of deductions, 127-29  
   —in physical theory, 132-34  
   —its exigencies, 29-31, 128, 144-45  
 logicism, 98  
 Lugol, P., 113  
  
 MacCullagh, J., 31  
 MacLaurin, C., 76  
 magnetism, 64  
 magnitude, physical, 14, 17  
 Mansion, P., 100, 102  
 Mariotte's law, 182  
 material point, 45  
 mathematics, role of, in physics, 33-36  
   —universal, 233  
 Maxwell, J.C., 18, 30, 82, 113, 117-18, 121,  
   125-26, 130-31, 133, 139, 142, 144-45,  
   162-63, 224, 227-28  
 matter, Leray's theory of, 55-57  
   —Cartesian definition of, 207-08  
 Mayer, R., 223, 234  
 Mayer, T., 221  
 mechanical theories, 15-19, 24-26  
   —*notion* of universe, 209-11, 217  
 mechanistic physics, its decadence, 25-26  
   —its fruitfulness, 24-25  
 metaphysical explanation, 21-24  
 metaphysical truth versus metaphysical  
   systems, 89-90  
 metaphysical systems of physicists, 26-31  
 metaphysics, 72-73, 76, 86, 136-37  
   —*as* explanation, 77  
   —its independence of physical theory,  
   93-97  
   —*versus* physics, 76, 84-112, 136-37  
 method, experimental, 91; *see also* physics,  
   experimental  
 method, ideal, 8  
 models, mechanical, in physics, 116-22,  
   228  
 molecular attraction, 30, 54  
 molecules as structures, 121  
 Molière, J.-B.P., 66, 209  
 monads, 44-48, 55-56, 74-75  
 motion, absolute, 212  
   —generalized *notion* of, 232  
   —local, 202  
   —relative, 212  
  
 nationality of the physicist, 144-45  
 natural classification, 136-37  
 natural theology, 98  
 nature, animated, 206  
 Navier, C.L.M.H., 54, 76, 220

- Neumann, C., 142  
 Neumann, F.E., 31, 38, 142, 156-58  
 Newton, I., 9-10, 24, 26, 63, 69-73, 76-79, 83, 108-09, 111, 144, 158-59, 176, 193, 215-17, 219-21, 229, 232, 234  
 Noel, E., 211  
  
 Oerstedt, H.C., 193, 221  
 Ohm, G.S., 38  
 Osiander, A., 103  
  
 Pacinotti, A., 38  
 Pascal, B., 66-67, 72, 108, 195, 211, 228, 234  
 Poincaré, H., 27, 30, 130, 133, 135, 144, 158, 229  
 Perrier, R., 134  
 phenomena, 86  
 physical theory, 11-13, 17-18, 33  
   —and cosmology, 107  
   —and incoherence, 134-35  
   —and mathematics, 33-36  
   —and metaphysics, 84-112  
   —and scepticism, 97  
   —and the physicist's nationality, 147  
   —as approximation, 11-12, 187-88  
   —as classification, 84, 93-95, 132, 188  
   —as formalism, 232  
   —as representation, 33, 127, 132  
   —as symbolic language, 163, 181-84  
   —criteria of, 31  
   —its perfection, 135-37  
   —its self-evident principles, 91-93  
   —not a machine, 160  
   —not a metaphysical explanation, 20-24, 132  
   —utility of, 37-39  
 physics, experimental, 147-97  
   —mathematical, 2  
   —never "purely" experimental, 153  
   —progress of, 165, 193, 234  
   —teaching of, 34, 140-41, 164-65  
 Posidonius, 101  
 positivism, 97, 99-100  
 precision, 12, 168-70, 179-81  
 primordial fluid, 49  
 principles, self-evident, 91-93  
 progress of physics, 165, 193, 234  
   —as growth of interpretation, 154  
 Providence, 234  
  
 qualities, 198, 200-03, 207, 214, 230-31  
   —as intensity, 231  
   —not objects of science, 206-07  
   —occult, 24, 64, 66, 72, 119, 206, 209, 216, 218, 229  
   quantities, 198-200  
  
 Rankine, M., 229  
 reductionism, Cartesian, 208  
 refraction, double, theory of, 32  
 Regnault, H.V., 13, 148-50, 153, 173-74  
 relativity, 212  
 representation, visual, 117  
 Rheticus, G.J., 103  
 Riemann, B., 124  
 rigor, logical, 132-33, 140, 144  
 Roemer, O., 209  
  
 scepticism, 73, 85, 97-100, 136  
 scholasticism, 104, 107-08, 111, 198, 214-15, 217, 234  
   —decadent, 104, 120, 203  
 science, analytical, 152  
   —its rational phase, 150-52  
   —theoretical, 2  
 Segner, J.A., 220  
 Siemens, F., 38  
 simple body, 230  
 simplicity, 120  
 Simplicius, 101  
 space, Lera's notion of, 43-44  
 Spencer, H., 26, 115  
 substance, 86-88, 198, 208, 213; *see also* things  
 Sylvester, J.J., 124  
 symbolism, 5, 8, 14  
  
 Tait, P.G., 113, 139, 141, 227  
 temperature, 4-6, 23  
 theorems as deductions, 226  
 theory, ideal, 19  
   —limits of, 11-15  
 thermodynamics, 20, 228-29, 232-33  
 things, essence of, 86-87, 137  
 Thomson, W., 18, 82, 113-14, 119, 121-22, 129-31, 133, 138-39, 141, 143, 145, 226-28, 234  
 tides, 64, 206  
 Torricelli, G.-B., 72  
 translation, symbolic, 8, 10, 15, 19, 155  
 truth, 195  
 Tyndall, J., 141  
  
 ultramundane corpuscles, 80  
 universe, physical, 21-23, 42, 50-51, 77  
   —as a machine, 66-67, 120-21, 228  
   —explanation, metaphysical of, 21-23, 42  
  
 Vicaire, E., 84, 133  
 void, horror of, 72

vortex, Cartesian, 208-09  
—gyrostatic, 227  
vortex-atom, 227  
vortex-motion, 225-27  
vortex-ring, 226-27  
vortex-tube, 226

wave theory of light, *see* light  
Weber, W.E., 38, 80, 142  
Weierstrass, K., 124  
Wiener, O., 156-58  
world, *see* universe

Young, T., 162, 176, 220, 222-23